

全国职业技能 ANSYS 认证指导用书

ANSYS Workbench 14.0 结构分析应用速成标准教程

北京兆迪科技有限公司 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是系统学习和运用 ANSYS Workbench 14.0 应用速成标准教程的书籍, 全书共 7 章, 内容包括 ANSYS Workbench 14.0 的基础操作、几何建模、载荷定义、约束定义、网格划分、求解与结果后处理和静态结构分析详解等, 书中还配有大量的实际综合应用案例。

本书讲解所使用的模型和应用案例覆盖了不同行业, 具有很强的实用性和广泛的适用性。在内容安排上, 书中结合大量的实例对 ANSYS 有限元结构分析一些抽象的概念、命令、功能和应用技巧进行讲解, 通俗易懂, 化深奥为简易; 另外, 本书所举范例均为一线实际产品, 这样的安排能使读者较快地进入结构分析实战状态; 在写作方式上, 本书紧贴软件的真实界面进行讲解, 使读者能够直观、准确地操作软件, 提高学习效率。读者在学习本书后, 能够迅速地运用 ANSYS 软件来完成一般产品的有限元结构分析工作。本书附带 1 张多媒体 DVD 教学光盘, 包括了与本书全程同步的语音视频文件, 含 184 段(集) ANSYS 应用技巧和具有针对性实例的教学视频(全部提供语音教学视频), 时长达 360 分钟。光盘还包含了本书所有的素材文件、练习文件和范例的源文件。

本书可作为工程技术人员的 ANSYS 自学教程和参考书籍, 也可供大专院校机械专业师生参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS Workbench 14.0 结构分析应用速成标准教程: 全程语音视频讲解/北京兆迪科技有限公司编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.1
全国职业技能 ANSYS 认证指导用书
ISBN 978-7-121-24793-4

I. ①A… II. ①北… III. ①有限元分析—应用软件 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 270116 号

策划编辑: 管晓伟

责任编辑: 管晓伟 特约编辑: 王 欢 等

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.5 字数: 444 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 59.90 元(含多媒体 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

ANSYS 是美国 ANSYS 公司推出的一款功能强大的大型分析软件系统,其功能涵盖了产品的结构、频率、流体、热力、电场、磁场、声场等的分析,应用范围涉及汽车、机械、航空航天、造船、通用机械、数控加工、医疗、玩具和电子等诸多领域。最新的 ANSYS Workbench 14.0 版本扩展了 ANSYS 系列产品的集成与多物理场的耦合应用。从总体看,ANSYS Workbench 14.0 的新优势主要体现在三个领域:扩展了工程应用、复杂系统的仿真、高性能计算(HPC)的驱动创新。

本书是 ANSYS Workbench 14.0 应用速成标准教程,其特色如下。

- ◆ 内容全面,涵盖了 ANSYS Workbench 14.0 的几何建模、载荷定义、约束定义、网格划分、求解与结果后处理等核心功能。
- ◆ 实例、范例丰富,对软件中的主要命令和功能,首先结合简单的实例进行讲解,然后安排一些较复杂的综合范例,帮助读者深入理解和灵活应用。另外,限于篇幅有限,篇幅过多势必增加书的定价(读者的负担),所以随书光盘中存放了大量的范例或实例教学视频(全程语音讲解),这样的安排可以进一步迅速提高读者的软件使用能力和技巧,同时也提高了本书的性价比。
- ◆ 循序渐进,讲解详细,条理清晰,图文并茂,使读者能够独立学习和运用 ANSYS Workbench 14.0 软件。
- ◆ 写法独特,采用 ANSYS 软件中真实的对话框、操控板和按钮等进行讲解,使初学者能够直观、准确地操作软件,从而大大提高学习效率。
- ◆ 附加值极高,本书附带 1 张多媒体 DVD 教学光盘,包括了 184 段(集)ANSYS 应用技巧和具有针对性实例的教学视频(全部提供语音教学视频),时长达 360 分钟,可以帮助读者轻松、高效地学习。

本书主要编写人员均来自北京兆迪科技有限公司,该公司专门从事 ANSYS 技术的研究、开发、咨询及产品设计与制造服务,并提供 CATIA、UG、Creo、Adams 等软件的专业培训及技术咨询,在本书编写过程中得到了该公司的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

本书由北京兆迪科技有限公司编著,参加编写的人员有詹友刚、王焕田、刘静、雷保珍、刘海起、魏俊岭、任慧华、詹路、冯元超、刘江波、周涛、赵枫、邵为龙、侯俊飞、龙宇、詹棋、高政、孙润、李倩倩、黄红霞、尹泉、李行、詹超、尹佩文。本书经过多次审校,但仍不免有疏漏之处,恳请广大读者予以指正。

电子邮箱:zhanygjames@163.com

编 者

本书导读

为了更好地学习本书的知识，请您仔细阅读下面的内容。

【写作软件蓝本】

本书采用的写作蓝本是 ANSYS Workbench 14.0 版。

【写作计算机操作系统】

本书使用的操作系统为 Windows XP，对于 Windows 2000 /Server 或 Windows 7 操作系统，本书的内容和范例也同样适用。

【光盘使用说明】

为了使读者方便、高效地学习本书，特将本书中所有的练习文件、素材源文件、已完成的实例、范例或案例文件和视频语音讲解文件等按章节顺序放入随书附带的光盘中，读者在学习过程中可以打开相应的文件进行操作、练习和查看视频。

本书附带多媒体 DVD 助学光盘 1 张，建议读者在学习本书前，先将此张 DVD 光盘中的所有内容复制到计算机硬盘的 D 盘中。

在光盘的 ansc14.0 目录下共有两个子目录，分述如下。

(1) work 子文件夹：包含本书全部已完成的实例、范例或案例文件。


(2) video 子文件夹：包含本书讲解中所有的视频文件（含语音讲解），学习时，直接双击某个视频文件即可播放。

光盘中带有“ok”扩展名的文件或文件夹表示已完成的实例、范例或案例。

【本书约定】

◆ 本书中有关鼠标操作的简略表述说明如下。

- 单击：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的左键。
- 双击：将鼠标指针移至某位置处，然后连续快速地按两次鼠标的左键。
- 右击：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的右键。
- 单击中键：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的中键。
- 滚动中键：只是滚动鼠标的中键，而不是按下中键。
- 选择（选取）某对象：将鼠标指针移至某对象上，单击以选取该对象。

- 拖曳某对象：将鼠标指针移至某对象上，然后按下鼠标的左键不放，同时移动鼠标，将该对象移动到指定的位置后再松开鼠标的左键。
- 本书所有涉及的参数，限于软件的特殊性，一律与对应图一致，作为正体表述。
- ◆ 本书中的操作步骤分为“任务”和“步骤”两个级别，说明如下。
 - 对于一般的软件操作，每个操作步骤以**步骤 01**开始。例如，下面是草绘环境中绘制矩形操作步骤的表述：
 - ☑ **步骤 01** 单击“Draw”栏中的  **Rectangle** 按钮。
 - ☑ **步骤 02** 定义矩形的第一个角点。在图形区某位置单击，放置矩形的一个角点，然后将该矩形拖至所需大小。
 - ☑ **步骤 03** 定义矩形的第二个角点。再次单击，放置矩形的另一个角点。此时，系统即在两个角点间绘制一个矩形。
 - 视每个“步骤”操作的复杂程度，下面可含有多级子操作。例如，**步骤 01**下可能包含（1）、（2）、（3）等子操作，（1）子操作下可能包含①、②、③等子操作，①子操作下可能包含a)、b)、c)等子操作。
 - 对于多个任务的操作，则每个“任务”冠以**任务 01**、**任务 02**、**任务 03**等，每个“任务”操作下则包含“步骤”级别的操作。
 - 由于已建议读者将随书光盘中的所有文件复制到计算机硬盘的D盘中，所以书中在要求设置工作目录或打开光盘文件时，所述的路径均以“D:”开始。

【技术支持】

本书主编和参编人员均来自北京兆迪科技有限公司，该公司专门从事 ANSYS 技术的研究、开发、咨询及产品设计与制造服务，并提供 UG、CATIA、Creo、Adams 等软件的专业培训及技术咨询。读者在学习本书的过程中如果遇到问题，可通过访问该公司的网站 <http://www.zalldy.com> 来获得技术支持。

咨询电话：010-82176248，010-82176249。

目 录

第 1 章	ANSYS Workbench14.0 基础	1
1.1	ANSYS Workbench14.0 功能详解	1
1.2	ANSYS Workbench 14.0 软件安装与启动	2
1.2.1	ANSYS Workbench14.0 软件安装一般过程	2
1.2.2	ANSYS Workbench14.0 软件的启动	8
1.3	ANSYS Workbench14.0 操作界面	9
1.4	ANSYS Workbench 分析项目列表操作	12
1.4.1	新建分析项目列表	12
1.4.2	项目列表常用操作	17
1.5	ANSYS Workbench 线性静态结构分析流程	19
1.6	ANSYS Workbench 文件操作与管理	20
1.6.1	文件操作	20
1.6.2	文件管理	21
第 2 章	ANSYS Workbench 基础操作	24
2.1	概述	24
2.2	设计数据管理	24
2.2.1	设计数据管理用户界面	24
2.2.2	定义新材料	28
2.2.3	材料数据库管理器	29
2.2.4	定义新材料库	31
2.3	设计参数设置	33
2.3.1	概述	33
2.3.2	参数设置操作	36
2.4	几何属性设置	40
2.4.1	导入几何体	40
2.4.2	几何体属性	41
2.5	单位系统	42
2.5.1	设置单位系统	42
2.5.2	新建单位系统	43
2.6	选择工具介绍	44
2.6.1	一般选择工具	44
2.6.2	命名选择工具	46
2.7	坐标系	51
第 3 章	Design Modeler 几何建模	54
3.1	Design Modeler 几何建模基础	54
3.1.1	Design Modeler 建模平台介绍	54
3.1.2	Design Modeler 鼠标及键盘操作	58
3.2	二维草图绘制	58
3.2.1	定义草图平面	58

3.2.2	进入与退出草图绘制模式	63
3.2.3	草图的设制	63
3.2.4	草图的绘制	64
3.2.5	草图修改	69
3.2.6	草图尺寸标注	75
3.2.7	草图约束	80
3.3	几何体建模	82
3.3.1	基本体素建模	82
3.3.2	拉伸	85
3.3.3	特征操作与编辑	90
3.3.4	旋转	92
3.3.5	圆角	92
3.3.6	倒斜角	95
3.3.7	抽壳/曲面	96
3.3.8	扫描	97
3.3.9	混合	98
3.4	几何体操作（基础）	99
3.4.1	阵列	99
3.4.2	体操作	102
3.4.3	布尔运算	106
3.4.4	删除面	109
3.5	几何体操作（高级）	110
3.5.1	冻结与解冻	110
3.5.2	提取中面	111
3.5.3	对称	112
3.5.4	延伸曲面	113
3.5.5	修补曲面	114
3.5.6	合并曲面	115
3.6	常用分析工具	116
3.7	概念建模	117
3.7.1	创建线体	117
3.7.2	创建面体	120
3.7.3	横截面	122
3.8	几何建模综合应用一	123
3.9	几何建模综合应用二	125
3.10	几何建模综合应用三	127
第 4 章	载荷与约束的定义	133
4.1	定义约束	133
4.1.1	固定约束	133
4.1.2	强迫位移	134
4.1.3	远程位移	135
4.1.4	无摩擦约束	136
4.1.5	仅压缩约束	137
4.1.6	圆柱面约束	138
4.1.7	简支约束	138
4.1.8	固定旋转	139
4.1.9	弹性支撑	140
4.2	载荷定义	141

4.2.1	惯性载荷	141
4.2.2	结构载荷	144
第 5 章	网格划分技术	153
5.1	ANSYS Workbench14.0 网格划分基础	153
5.1.1	ANSYS 网格划分平台	153
5.1.2	ANSYS Workbench 网格划分用户界面	154
5.1.3	网格划分方法介绍	155
5.1.4	ANSYS Workbench 网格划分一般流程	159
5.2	全局网格控制	159
5.2.1	划分网格	159
5.2.2	全局网格参数设置	160
5.2.3	全局网格参数设置综合应用	166
5.3	局部网格控制	168
5.3.1	方法控制	168
5.3.2	尺寸控制	175
5.3.3	接触尺寸控制	178
5.3.4	加密网格控制	179
5.3.5	面映射控制	180
5.3.6	匹配控制	183
5.3.7	简化控制	184
5.3.8	分层网格控制	185
5.4	网格检查工具	186
5.5	网格划分综合应用一	194
5.6	网格划分综合应用二	195
第 6 章	ANSYS Workbench 求解与结果后处理	198
6.1	求解选项	198
6.2	求解与后处理结果	199
6.3	结果后处理工具	202
6.3.1	结果工具栏	202
6.3.2	剖截面	209
6.4	分析报告	210
6.4.1	创建结果图解报告	210
6.4.2	创建分析报告	213
第 7 章	静态结构分析问题详解	215
7.1	静力结构分析基础	215
7.2	静力结构分析流程	216
7.3	杆系与梁系结构分析	218
7.3.1	分析问题概述	218
7.3.2	杆系与梁系结构分析一般流程	219
7.4	薄壳结构问题分析	223
7.4.1	分析问题概述	223
7.4.2	薄壳结构分析一般流程	223
7.5	平面问题分析	225
7.5.1	分析问题概述	225
7.5.2	平面应力问题	225
7.5.3	平面应变问题	230
7.5.4	轴对称问题	236

7.6 接触问题分析 241

 7.6.1 接触问题概述 241

 7.6.2 接触类型介绍 241

 7.6.3 壳接触分析 257

 7.6.4 网格连接 260

7.7 结构分析实际综合应用一——滑动拨叉结构分析 263

7.8 结构分析实际综合应用二——厂房三角钢架结构分析 266

7.9 结构分析实际综合应用三——ABS 控制器钣金支架结构分析 271

7.10 结构分析实际综合应用四——锥形涨套传动器结构分析 274

7.11 结构分析实际综合应用五——钣金组件接触分析应用 278

第 1 章 ANSYS Workbench 14.0 基础

1.1 ANSYS Workbench 14.0 功能详解

ANSYS Workbench 是一款基于有限元法的工程仿真技术集成平台，由美国 ANSYS 公司于 2002 年首先推出。ANSYS Workbench 继承了 ANSYS Mechanical APDL 界面在有限元仿真分析上的绝大部分强大功能，其最大变化是提供了全新的“项目视图”（Project Schematic）功能，将整个仿真流程紧密地结合在一起，通过简单的拖拽操作即可完成复杂的多物理场分析流程；其所提供的 CAD 双向参数链接互动、项目数据自动更新机制、全新的参数、无缝集成的优化设计工具等，使 ANSYS 在“仿真驱动产品设计”方面达到了前所未有的高度。

同时，ANSYS Workbench 平台还可以作为一个应用开发框架，提供项目全脚本、报告、用户界面工具包和标准的数据接口。ANSYS Workbench 真正实现了集产品设计、仿真、优化功能于一身，可帮助设计人员在同一平台上完成产品研发过程的所有工作，从而大大缩短了产品开发周期。

ANSYS Workbench 实际就是 ANSYS 各类求解器和功能应用的仿真设计管理集成平台，其工作台可组成各种不同的工程应用，ANSYS 家族中主要包括以下产品。

- ◆ ANSYS Workbench Application: 这实际上可认为是 ANSYS 产品的应用框架，如 CFD、结构力学、刚体动力学、电磁分析和优化设计等。
- ◆ Mechanical APDL: ANSYS 经典版即传统版，简称 MAPDL。
- ◆ ANSYS CFD: ANSYS 流体动力学软件，主要包括 CFX 和 FLUENT。
- ◆ ANSYS ICEM CFD: 带有前、后处理特征的网格划分软件。
- ◆ ANSYS AUTODYN: ANSYS 的显示动力学软件。
- ◆ ANSYS LS-DYNA: LSTC 的显示动力学软件，可在 ANSYS 中进行前、后处理。

ANSYS Workbench 14.0 整合现有的各种应用并将仿真过程集成在同一界面下。最新的 ANSYS Workbench 14.0 在 ANSYS Workbench 13.0 的基础上进一步提高和改进原有的框架，尤其扩展了 ANSYS 系列产品的集成与多物理场的耦合应用。ANSYS Workbench 14.0 的新增功能主要体现在以下三个方面。

1. 扩展了工程应用

- ◆ 提高了 CAD 模型的处理和划分网格的功能。
- ◆ 工作流程更加人性化。
- ◆ 提升了几何建模和协同仿真能力。
- ◆ MAPDL 和 ANSYS Workbench 的紧密集成。
- ◆ 复合材料分析更加方便。
- ◆ 加强了外部数据映射。
- ◆ 直接得到转子系统临界转速的坎贝尔图。
- ◆ 支持来自 MAPDL 求解器的最新管单元。
- ◆ 稳健的显式求解。
- ◆ 三维集成电路封装电子冷却流程的易用性。
- ◆ 加强了 ANSYS EKM 产品的功能和效率。
- ◆ ANSYS HFSS 与 ECAD 可直接连接，SIwave 的精确性和可用性亦得到了增强。

2. 复杂系统的仿真

- ◆ 加强了自动模拟仿真功能。
- ◆ 便于设置多物理场仿真。
- ◆ 新增了许多高级材料模型，扩展了现有模块功能。
- ◆ 扩展低频、结构和流体耦合。
- ◆ 欧拉壁面液面模型和多分散流模拟。

3. HPC 驱动创新

- ◆ 加强了流体求解器与 HPC。
- ◆ 增强了旋转机械模拟。
- ◆ 优化了结构计算与 HPC。
- ◆ 能够准确地建立有限大阵列分析。
- ◆ 物理光学法求解。

1.2 ANSYS Workbench14.0 软件安装与启动

1.2.1 ANSYS Workbench14.0 软件安装一般过程

单机版的 ANSYS Workbench 14.0 在各种操作系统下的安装过程基本相同，下面仅以 Windows XP Professional 为例，说明其安装过程。

任务 01 进入安装界面

步骤 01 ANSYS Workbench 14.0 软件有两张安装光盘，先将安装光盘放入光驱内（如果已将系统安装文件复制到硬盘上，可双击系统安装目录下的 `setup.exe` 文件），等待片刻后，弹出图 1.2.1 所示的安装管理器对话框。

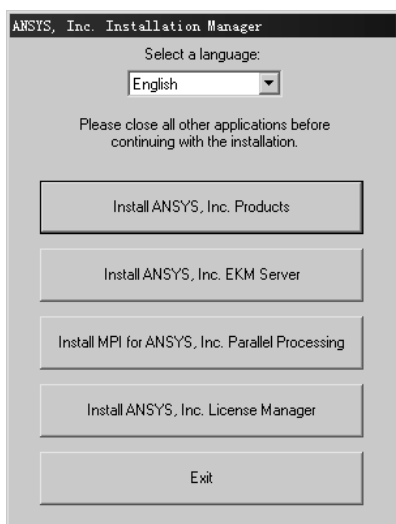


图 1.2.1 安装管理器对话框

步骤 02 单击“安装管理器”对话框中的 `Install ANSYS, Inc. Products` 按钮，弹出图 1.2.2 所示的对话框，在该对话框中选中 `I AGREE` 选项，接受许可证协议。

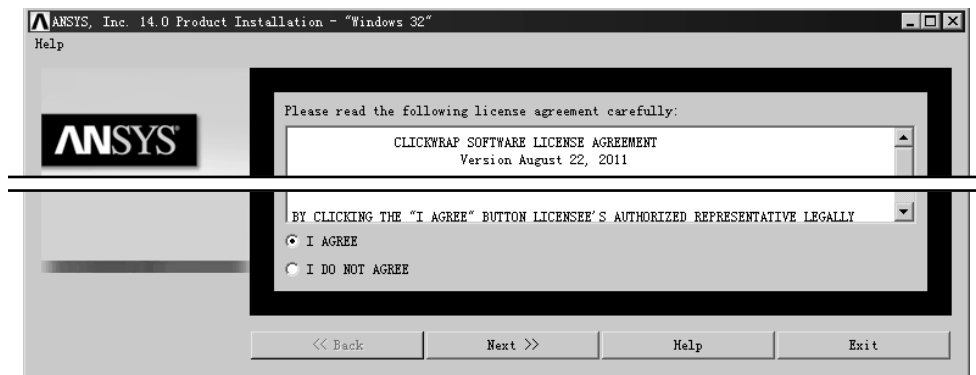


图 1.2.2 接受许可证协议

任务 02 安装应用程序

步骤 01 单击对话框中的 `Next >>` 按钮，弹出图 1.2.3 所示的对话框，在该对话框中选中所有复选框。

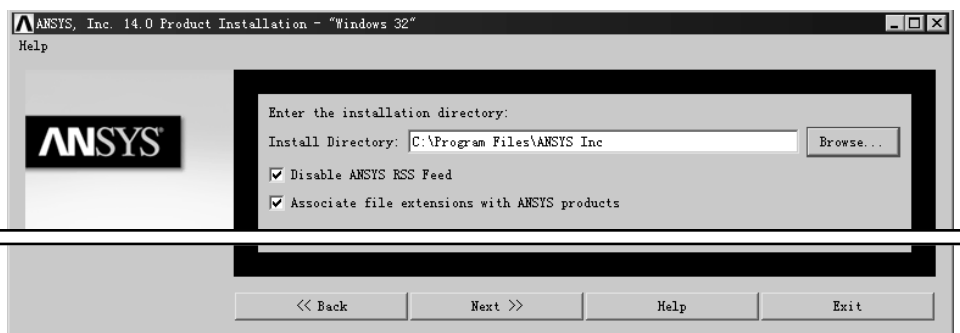


图 1.2.3 安装应用程序（一）

步骤 02 单击对话框中的 **Next >>** 按钮，直到弹出图 1.2.4 所示的对话框，在对话框中进行如图 1.2.4 所示的设置。

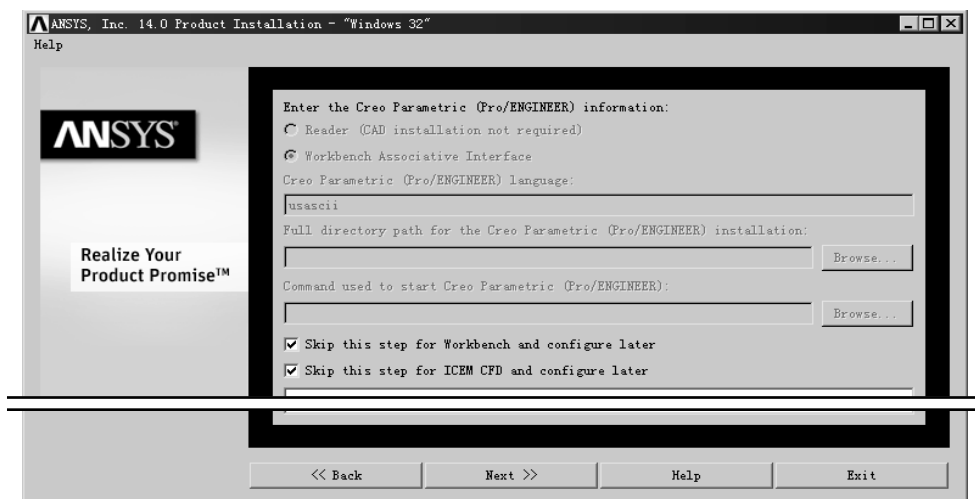


图 1.2.4 安装应用程序（二）

步骤 03 单击对话框中的 **Next >>** 按钮，弹出图 1.2.5 所示的对话框，在对话框中进行如图 1.2.5 所示的设置。

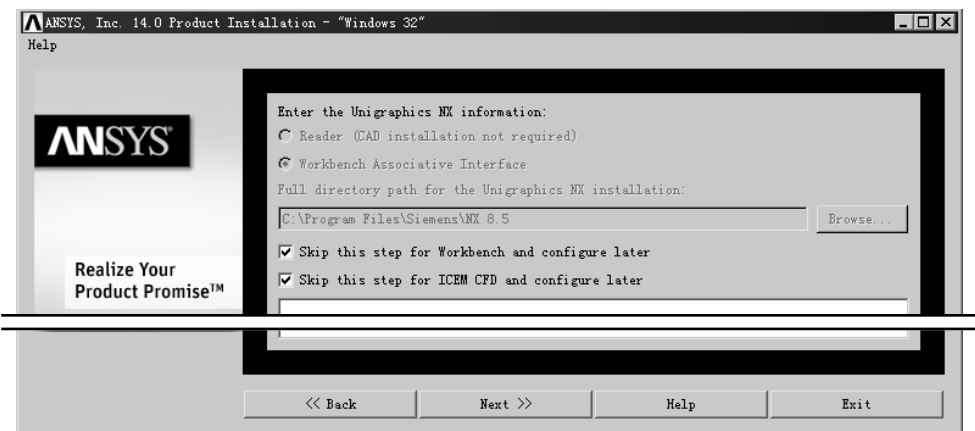


图 1.2.5 安装应用程序（三）

步骤 04 单击对话框中的 **Next >>** 按钮，在弹出的对话框中分别选中 ☒ **Skip and configure later** 复选框，继续单击 **Next >>** 按钮，直到弹出图 1.2.6 所示的对话框。

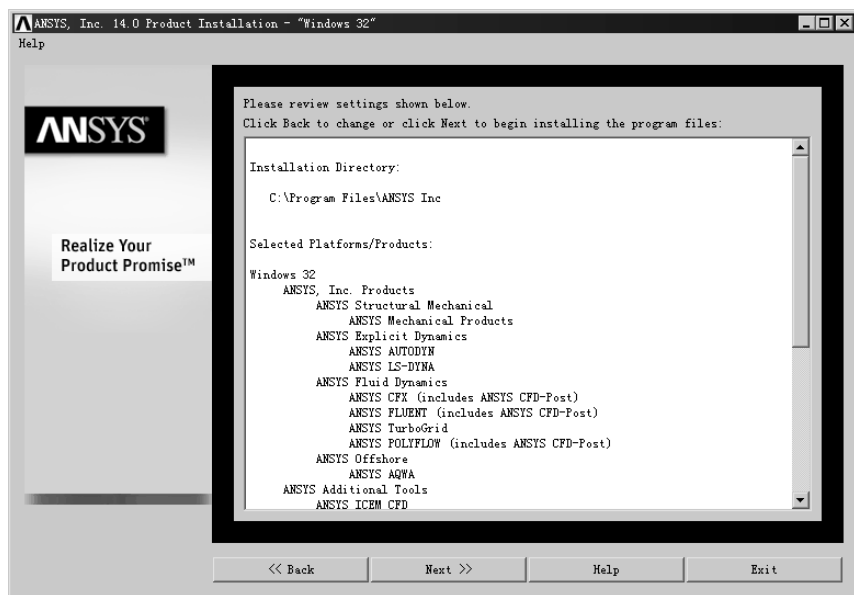


图 1.2.6 安装应用程序（四）

任务 03 安装

步骤 01 单击对话框中的 **Next >>** 按钮，弹出图 1.2.7 所示的对话框，开始对主程序进行安装，这需要一定的安装时间。

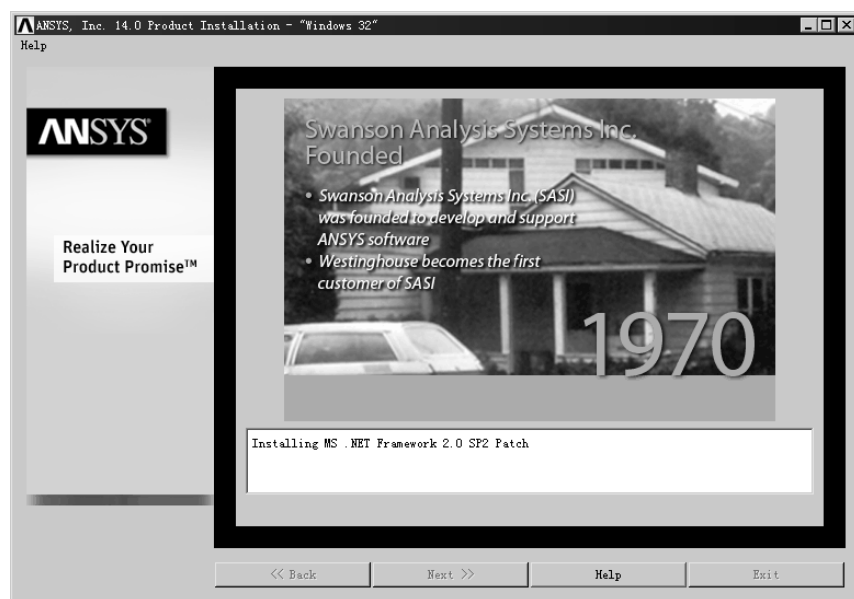


图 1.2.7 安装（一）

步骤 02 系统安装完第一张光盘后，弹出图 1.2.8 所示的对话框，单击对话框中的 **Browse...** 按钮，添加第二张光盘，单击 **OK** 按钮，系统继续安装主程序。

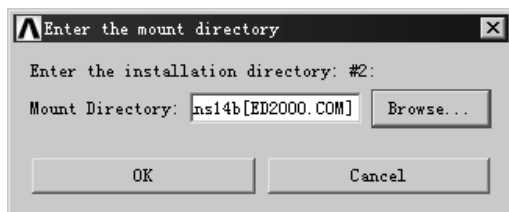


图 1.2.8 安装（二）

步骤 03 安装完主程序后，单击对话框中的 **Next >>** 按钮，直到弹出图 1.2.9 所示的对话框，在该对话框中的 **Hostname 1:** 下的文本框中输入完整的计算机名称，如图 1.2.9 所示。

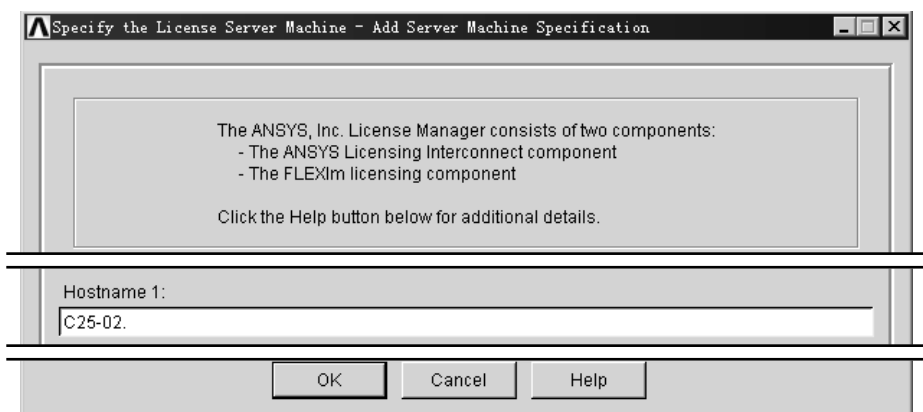


图 1.2.9 安装（三）

步骤 04 单击对话框中的 **OK** 按钮，弹出图 1.2.10 所示的对话框，单击对话框中的 **Exit** 按钮。

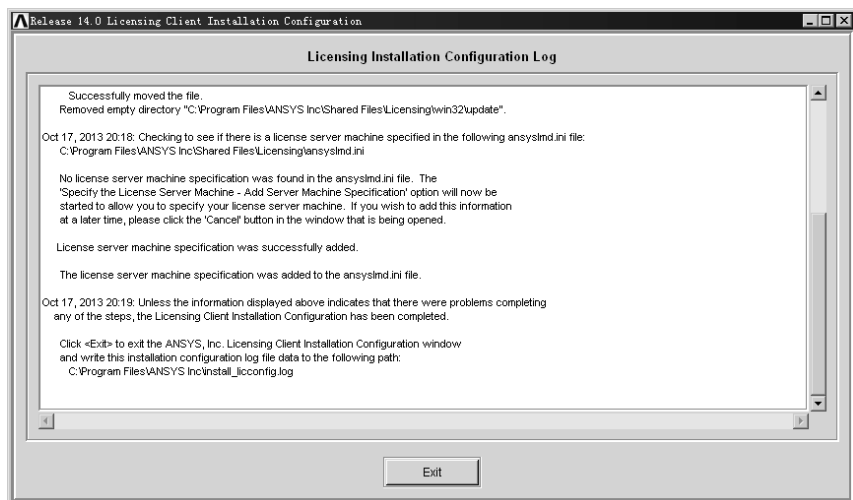


图 1.2.10 安装（四）

步骤 05 采用系统默认设置，分别单击 **Next >>** 按钮，直到弹出图 1.2.11 所示的对话框，单击该对话框中的 **Finish** 按钮，完成主程序的安装，返回初始安装界面。

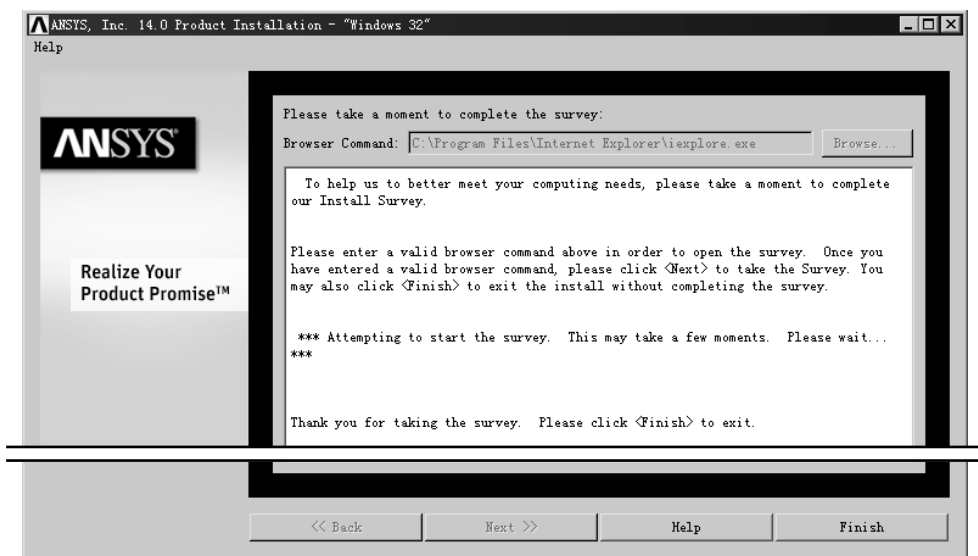


图 1.2.11 安装（五）

任务 04 安装许可证文件

步骤 01 单击“安装管理器”对话框中的 **Install ANSYS, Inc. License Manager** 按钮，弹出图 1.2.12 所示的对话框，单击对话框中的 **OK** 按钮，在弹出的对话框中选中 **I AGREE** 选项，接受许可证协议。

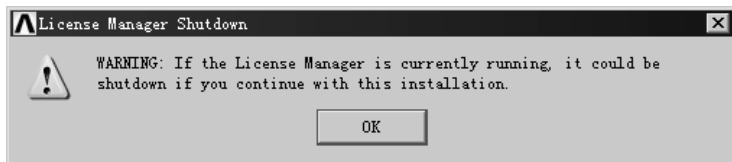


图 1.2.12 安装许可证文件（一）

步骤 02 采用系统默认设置，分别单击 **Next >>** 按钮，直到弹出安装界面，安装完成后继续单击 **Next >>** 按钮，然后单击对话框中的 **Exit** 按钮，弹出图 1.2.13 所示的对话框，单击 **Continue** 按钮，找到安装目录中的 MAGNITUDE 文件夹，将其复制到计算机的任意位置（如桌面），找到并单击其中的 AP14_Calc，打开图 1.2.14 所示的窗口。

步骤 03 在窗口指定位置输入 y，并按回车键，然后按任意键关闭该窗口，此时系统在 MAGNITUDE 文件夹中生成了一个名为 license 的文件，单击对话框中的 **Continue** 按钮，在打

开的窗口中找到刚刚生成的 license 文件并双击，在系统弹出的一系列对话框中单击 **Continue** 或 **Exit** 按钮，直到返回初始安装界面，最后单击 **Exit** 按钮，完成安装。

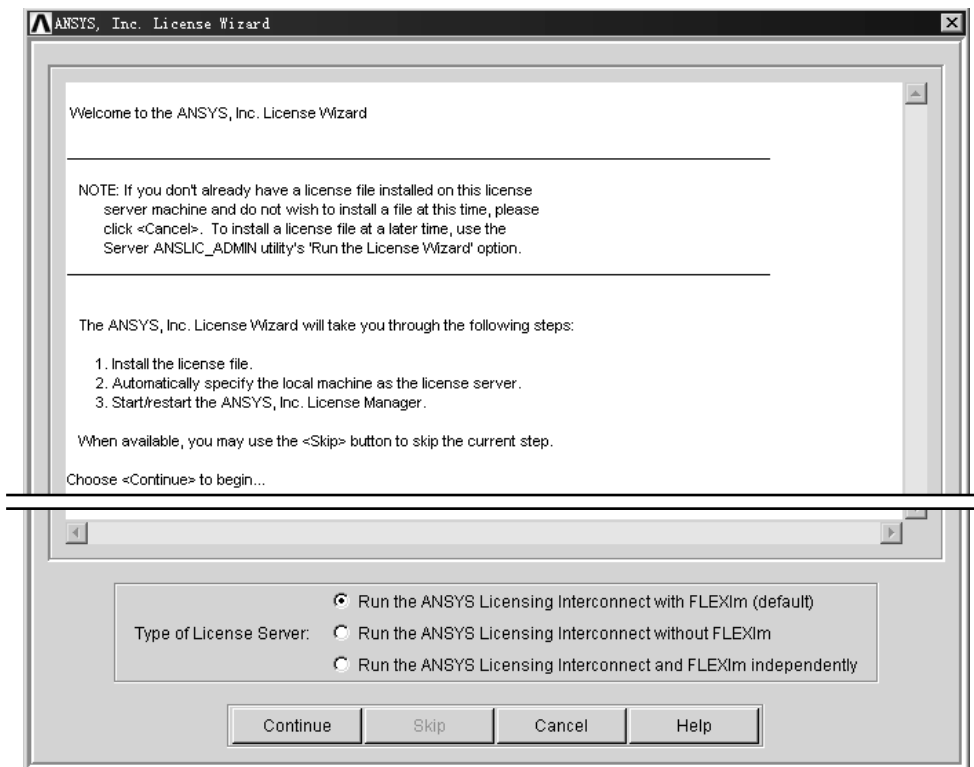


图 1.2.13 安装许可证文件（三）

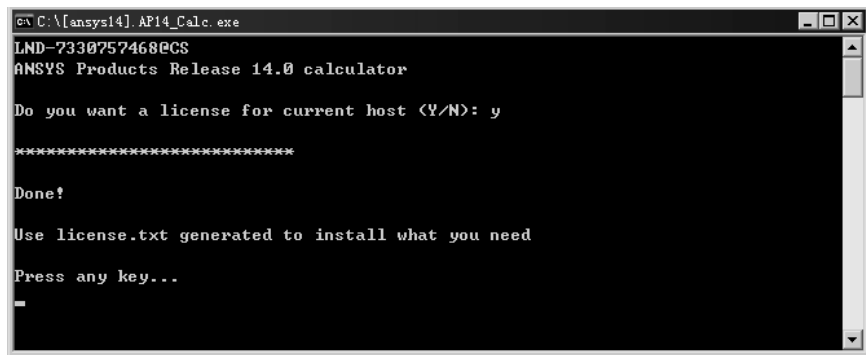



图 1.2.14 安装许可证文件（四）

1.2.2 ANSYS Workbench14.0 软件的启动

一般来说，有两种方法可启动 ANSYS Workbench 14.0。

方法一：从 Windows 系统的“开始”菜单进入 Workbench 14.0，具体操作方法如下所述。

步骤01 单击 Windows 桌面左下角的  开始 按钮。

步骤02 选择  程序 (P) →  ANSYS 14.0 →  Workbench 14.0 命令,如图 1.2.15

所示,便进入 Workbench 14.0 软件环境。

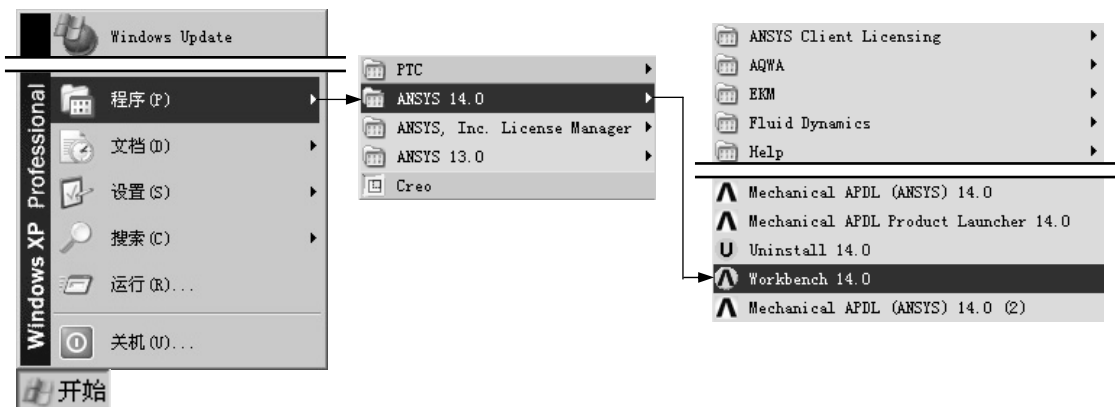




图 1.2.15 从开始菜单进入 Workbench

方法二:直接从 CAD 系统中进入 Workbench 14.0,下面介绍从 UGNX8.0 软件进入 Workbench 14.0 的具体操作方法 (图 1.2.16)。

在 UGNX8.0 界面中选择下拉菜单  ANSYS 14.0 →  Workbench 命令,即可进入 Workbench 14.0 软件环境。

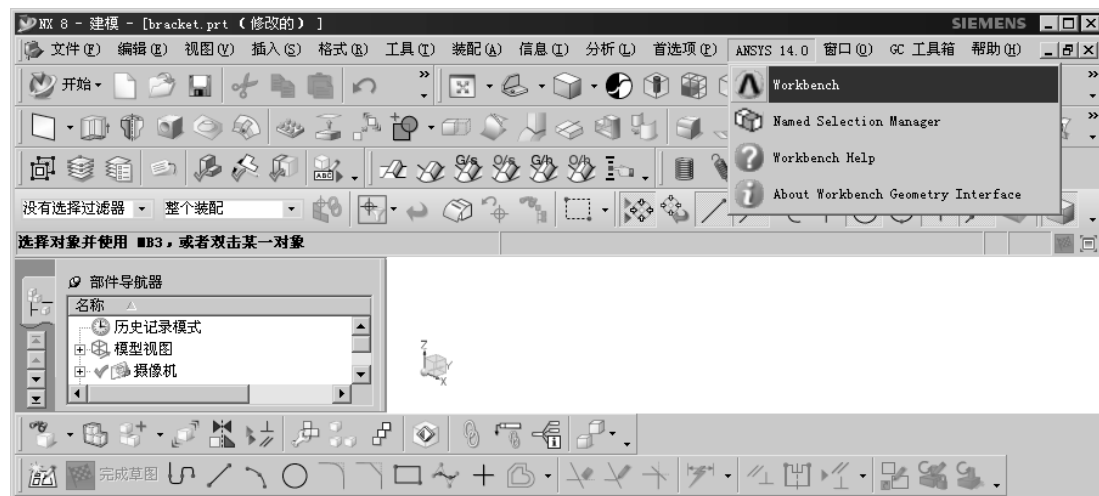


图 1.2.16 直接从 CAD 系统进入 Workbench

1.3 ANSYS Workbench14.0 操作界面

ANSYS Workbench 14.0 的用户界面主要由主菜单栏 (Main Menu Bar)、工具箱 (Toolbox)、

项目视图区 (Project Schematic)、用户工具箱 (Customize Toolbox)、状态栏 (Status)、进程窗 (Progress Window) 和信息窗 (Message Window) 组成, 如图 1.3.1 所示。

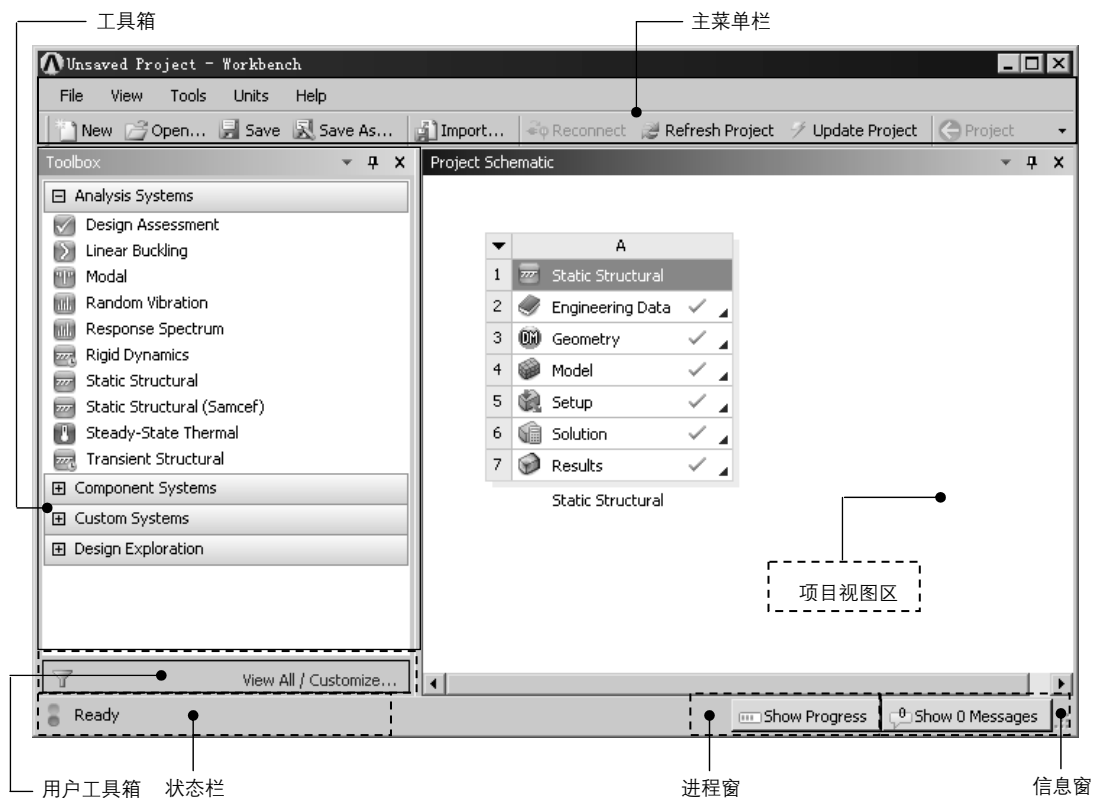


图 1.3.1 ANSYS Workbench 14.0 界面

1. 主菜单栏

主菜单栏包括文件 (File)、视图 (View)、工具 (Tools)、单位 (Units) 和帮助 (Help) 五个菜单, 可以对软件进行各种应用设置和定制, 其中一些常用的命令直接提取到菜单栏中, 方便调用。

2. 工具箱

工具箱 (图 1.3.2) 显示的具体内容即用户所安装的产品项目, 其中的每一种产品项目都可以实现不同的分析需要。

- ◆ Analysis Systems: 通用分析模块。
- ◆ Component Systems: 用于创建各种不同的应用程序或用来扩展所分析的系统。
- ◆ Custom Systems: 用于预先定义耦合系统。
- ◆ Design Exploration: 用于优化和参数管理。

3. 用户工具箱

通常情况下，用户工具箱窗口是关闭的，在工具箱底部单击 **View All / Customize...** 按钮，弹出图 1.3.3 所示的用户工具箱窗口，在窗口中勾选任意项目图标，即可将其显示在工具箱中，方便以后的调用。单击工具箱底部的 **<< Back** 按钮，关闭用户工具箱。

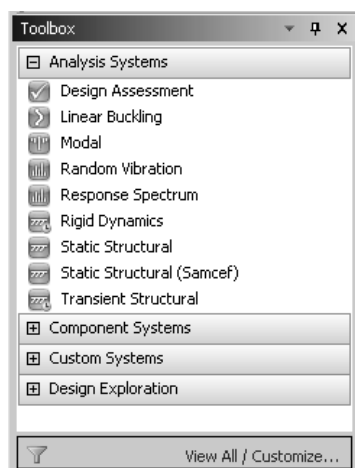


图 1.3.2 工具箱

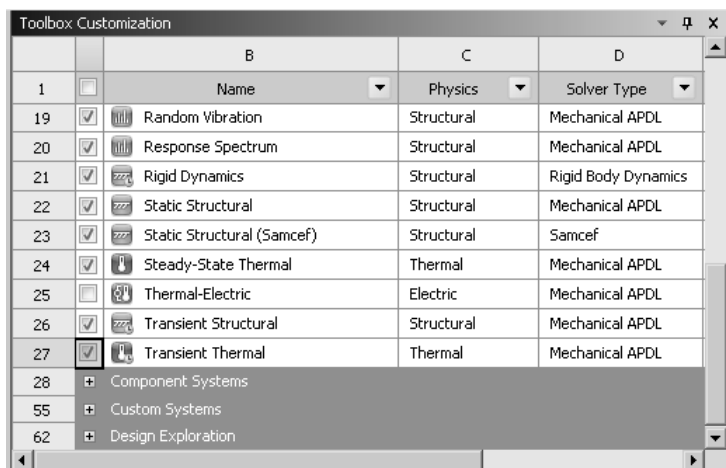


图 1.3.3 用户工具箱

4. 项目视图区

项目视图区中用一个图形代表所定义的一个或一组系统的工作流程，通常按照从左到右的顺序排列。在工具箱中双击或直接拖动项目图标到项目视图区，即可创建一个分析项目。

ANSYS Workbench 14.0 项目列表中常见的一些图标及其含义如表 1.6.1 所示。

表 1.6.1 项目图标含义

图 标	图 标 含 义
	数据确定
	需要注意
	缺少数据，上行数据不存在
	需要刷新，上行数据已改变
	需要更新，本地数据已改变
	求解中
	更新失败
	更新中断
	输入变化，组块需要局部更新，但当下一个执行更新时由于上行数据改变，可能会发生变化

5. 状态栏

状态栏显示了当前软件系统的工作状态。

6. 进程窗

进程窗显示了当前分析的进程。

7. 消息窗

消息窗显示了当前分析过程中的各种信息。

1.4 ANSYS Workbench 分析项目列表操作

在 ANSYS Workbench 中，所有分析项目的进行都是从新建项目列表开始的，在 ANSYS Workbench 中可以根据分析需要新建各种项目列表。下面具体介绍 ANSYS Workbench 中各种项目列表的新建及基本操作。

1.4.1 新建分析项目列表

1. 新建 “Engineering Data” 项目列表

ANSYS Workbench 中的 “Engineering Data” 项目列表用于管理分析中的所有设计数据，包括材料属性和设计参数。下面具体介绍新建 “Engineering Data” 项目列表的操作方法。

在 ANSYS Workbench 界面中选中 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域的 **Engineering Data** 选项，按住鼠标左键将其拖动到项目视图区，此时在项目视图区出现图 1.4.1 所示的区域，在区域内释放鼠标，系统即在该区域新建一个 “Engineering Data” 项目列表，如图 1.4.2 所示。



新建项目列表的另一种方法：直接双击 **Engineering Data**。

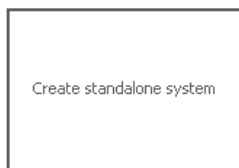


图 1.4.1 新建区域

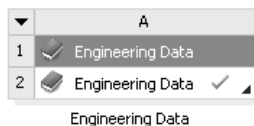






图 1.4.2 创建 “Engineering Data” 项目列表

2. 新建 “Geometry” 项目列表

ANSYS Workbench 中的 “Geometry” 项目列表用于管理分析中的几何模型，几何建模既可


以在 ANSYS Workbench 的专有建模平台 DesignModeler 中进行,也可以从其他 CAD 软件中导入。下面具体介绍新建“Geometry”项目列表的操作方法。

在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域的  Geometry 选项,则新建一个“Geometry”项目列表,如图 1.4.3 所示。

在“Geometry”项目列表中双击  (或右击,在弹出的快捷菜单中选择 **DM New Geometry...** 命令,进入 DesignModeler 建模平台,可以进行几何体创建;也可以在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry**   **Browse...** 命令,导入外部几何文件,相关内容将在本书后面章节中详细介绍,此处不再赘述)。

3. 新建“Mesh”项目列表

ANSYS Workbench 中的“Mesh”项目列表用于管理分析中的网格划分,通过创建“Mesh”项目列表可以进入 ANSYS Workbench 的专有网格划分平台进行几何模型网格划分。下面具体介绍新建“Mesh”项目列表的操作方法。

在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域的  Mesh 选项,则新建一个“Mesh”项目列表,如图 1.4.4 所示。

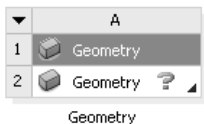


图 1.4.3 创建“Geometry”项目列表

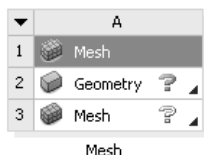



图 1.4.4 创建“Mesh”项目列表

4. 新建专有分析项目列表

如果要进行专有分析,可以在 ANSYS Workbench 中直接新建专有分析项目列表。如果要进行静态结构分析,可以新建一个“Static Structure”项目列表;如果要进行模态分析,可以新建一个“Modal”项目列表,其他以此类推。下面以新建静态结构分析项目列表为例,介绍新建专有分析项目列表的操作方法。

在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域的  Static Structural 选项,则新建一个“Static Structure”项目列表,如图 1.4.5 所示。

5. 通过共享创建项目列表

在 ANSYS Workbench 中,各种项目列表间的某些数据是可以共享的,这样会省去重新创建项目列表的麻烦,共享数据可以共享一项数据,也可以共享多项数据。下面具体介绍通过共享创建项目列表的操作方法。

步骤 01 新建“Geometry”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域的 **Geometry** 选项，新建一个“Geometry”项目列表，如图 1.4.6 所示。

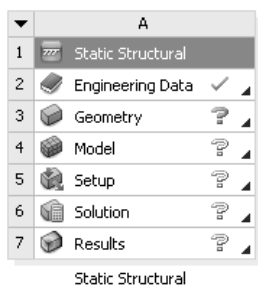


图 1.4.5 创建“Static Structure”项目列表

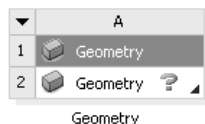


图 1.4.6 创建“Geometry”项目列表

步骤 02 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中单击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域的 **Mesh** 选项，将其拖动到项目视图区，此时在项目视图区中的“Geometry”项目列表周围出现四个绿色矩形虚线框，将光标移动到“Geometry”项目列表中的 **Geometry** 上，此时右侧虚线框变成红色实线框（图 1.4.7），释放鼠标，在“Geometry”项目列表右侧创建一个“Mesh”项目列表，如图 1.4.8 所示。

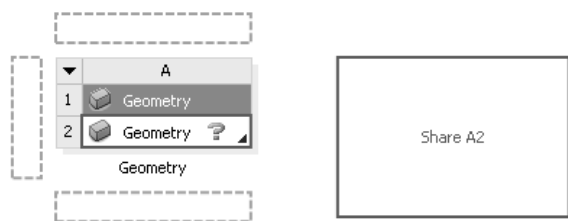


图 1.4.7 放置项目列表

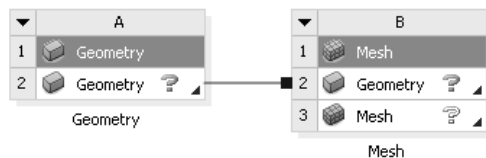


图 1.4.8 创建“Mesh”项目列表



- ◆ 如图 1.4.8 所示的项目列表，在“Geometry”项目列表和“Mesh”项目列表中的 **Geometry** 之间的蓝色连线表示这两个项目间共享“Geometry”，即共享几何体。
- ◆ ANSYS Workbench 中的每一个数据都有一个特定的标记，而且在 ANSYS Workbench 很多界面中都会看到。每一个项目列表最上方中间位置用大写字母标记，从 A 开始，之后创建的项目列表以此类推；每个项目列表中的数据用阿拉伯数字标记，从 1 开始，这样就很容易区分项目中的数据，以图 1.4.8 所示的项目列表为例：如“A2”表示的是“Geometry”项目列表中的 **Geometry** 数据，“B3”表示的是“Mesh”项目列表中的 **Mesh** 数据，图 1.4.7 中右侧红色实线框中出现“Share A2”表示共享“A2”数据，即共享 **Geometry** 数据，以此类推。

- ◆ 在创建共享项目列表时，直接将项目列表拖拽到绿色虚线框中，如图 1.4.9 所示，将创建一个独立的项目列表，那么新创建的项目列表与旧的项目列表之间就不存在共享关系了，如图 1.4.10 所示。

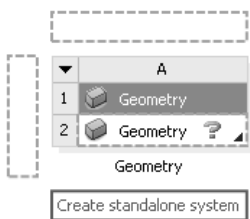


图 1.4.9 放置项目列表

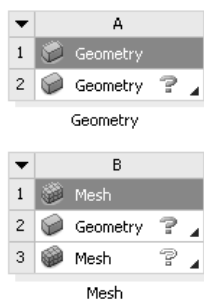


图 1.4.10 独立项目列表

步骤 03 创建“Static Structure”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中单击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域的 **Static Structural** 选项，将其拖动到项目视图区“Mesh”项目列表中的 **Geometry ?** 上（图 1.4.11），释放鼠标，在“Mesh”项目列表右侧创建一个“Static Structure”项目列表，如图 1.4.12 所示。

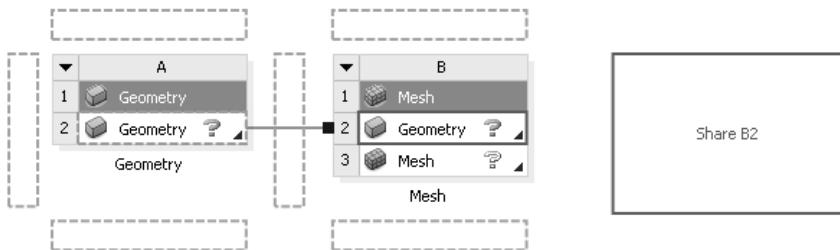


图 1.4.11 放置项目列表

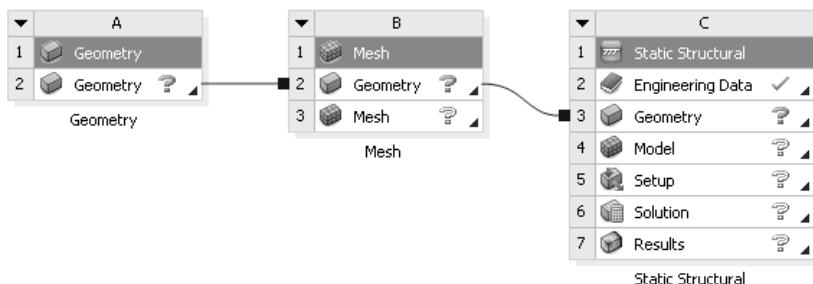


图 1.4.12 创建“Static Structure”项目列表

步骤 04 创建“Modal”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中单击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域的 **Modal** 选项，将其拖动到项目视图区“Static Structure”项目列表中的 C2、

C3、C4 数据上 (图 1.4.13), 释放鼠标, 在 “Static Structure” 项目列表右侧创建一个 “Modal” 项目列表, 如图 1.4.14 所示。



此处创建的 “Modal” 项目列表与之前创建的 “Static Structure” 项目列表共享了 Engineering Data、Geometry 和 Model 三项分析数据。

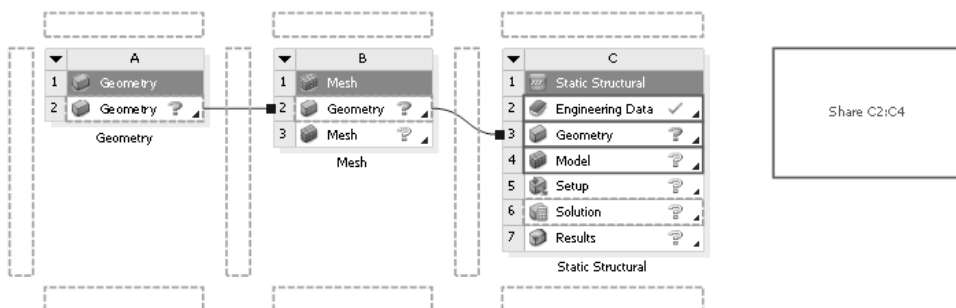


图 1.4.13 放置项目列表

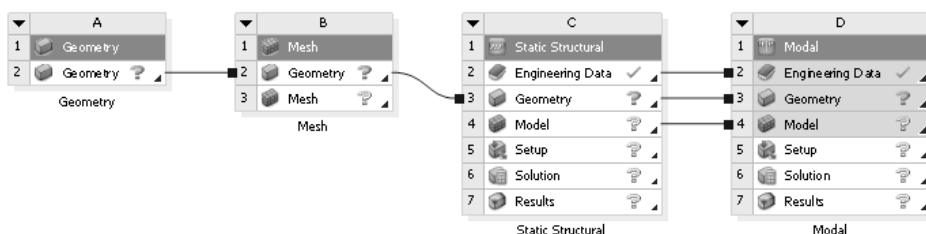


图 1.4.14 创建 “Modal” 项目列表

步骤 05 创建 “Engineering Data” 项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中单击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域的 **Engineering Data** 选项, 将其拖动到项目视图区 “Mesh” 项目列表的上方虚线框中, 在 “Mesh” 项目列表上方创建一个独立的 “Engineering Data” 项目列表, 如图 1.4.15 所示。

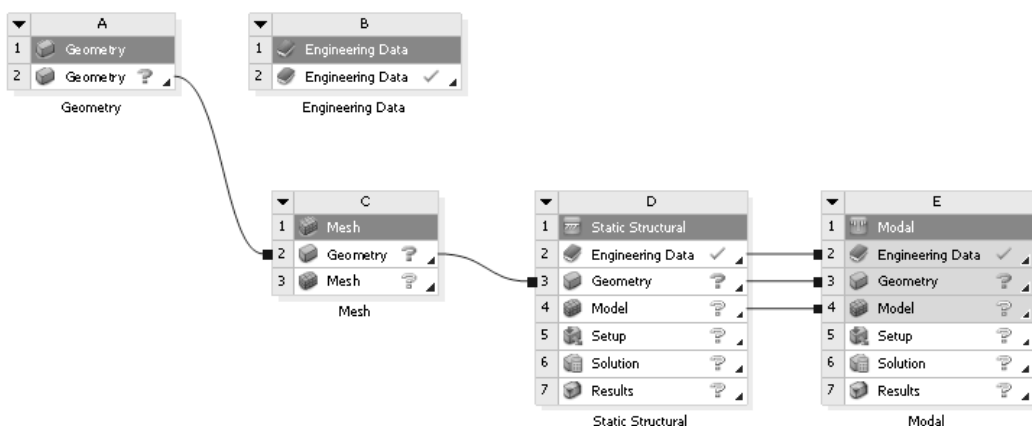





图 1.4.15 创建 “Engineering Data” 项目列表

步骤06 共享数据。在“Engineering Data”项目列表中选中  并将其拖动到“Static Structure”项目列表中的  上，将在二者之间创建一条连线，表示项目之间共享  数据，如图 1.4.16 所示。

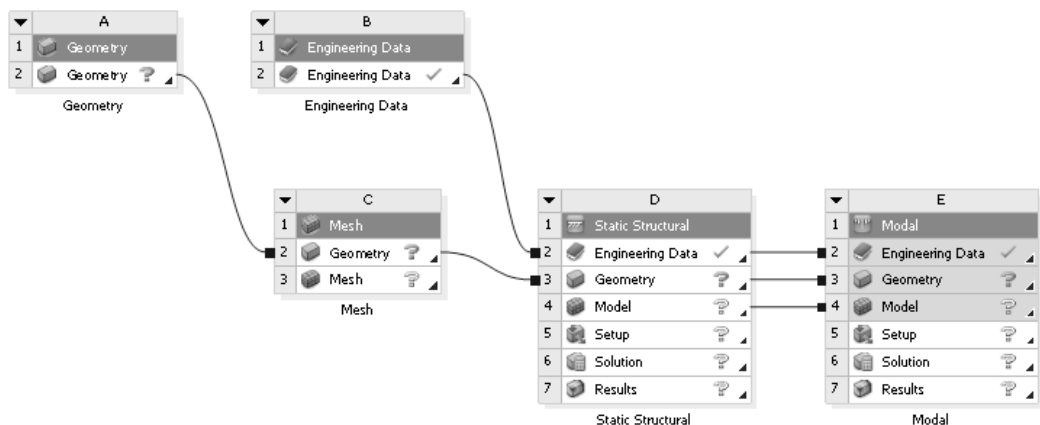


图 1.4.16 共享数据

1.4.2 项目列表常用操作

在项目列表的创建及分析过程中，往往需要对项目列表进行一些编辑与修改操作，下面以图 1.4.17 所示的项目列表为例，介绍项目列表的一些基本操作方法。

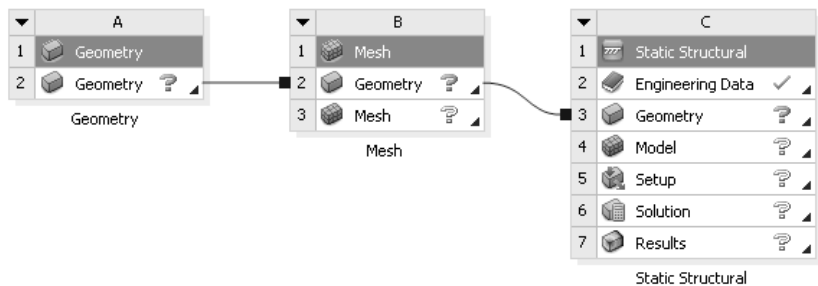







图 1.4.17 项目列表基本操作

步骤01 删除项目列表。在“Mesh”项目列表中右击 ，在弹出的快捷菜单中选择  命令，弹出“ANSYS Workbench”对话框，单击对话框中的  按钮，结果如图 1.4.18 所示。

步骤02 复制项目列表。在“Static Structure”项目列表中右击 ，在弹出的快捷菜单中选择  命令，创建一个“Static Structure”项目列表的副本，结果如图 1.4.19 所示。

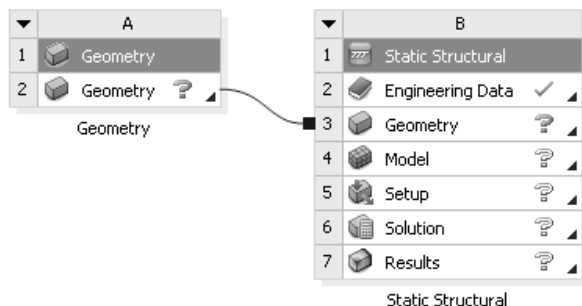


图 1.4.18 删除项目列表

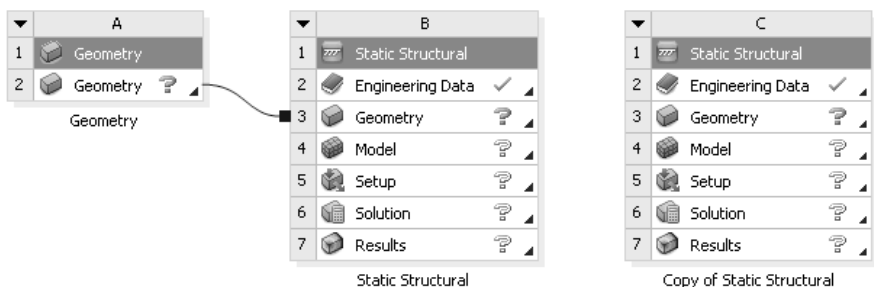
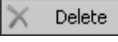
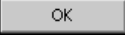


图 1.4.19 复制项目列表

步骤 03 解除共享。在项目视图区选中共享连线后右击,在弹出的快捷菜单中选择  **Delete** 命令,弹出“ANSYS Workbench”对话框,单击对话框中的  **OK** 按钮,结果如图 1.4.20 所示。



共享数据关系一旦解除,数据与数据之间即不存在共享关系了,彼此之间不能共享数据。

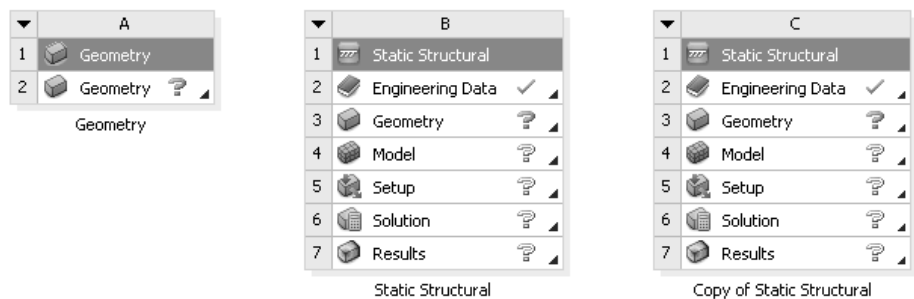





图 1.4.20 解除共享

步骤 04 移动项目列表。在复制得到的“Static Structure”项目列表中单击  **Static Structural**, 将其拖动到“Geometry”项目列表下方的绿色虚线框中,即可将选中的“Static Structure”项目列表移动到“Geometry”项目列表下方,结果如图 1.4.21 所示。

步骤 05 替换项目列表。在移动得到的“Static Structural”项目列表中右击 ，在弹出的快捷菜单中选择 **Replace With**  **Modal** 命令，将静态结构分析项目替换成模态分析项目，并将其移动到原始复制位置，结果如图 1.4.22 所示。

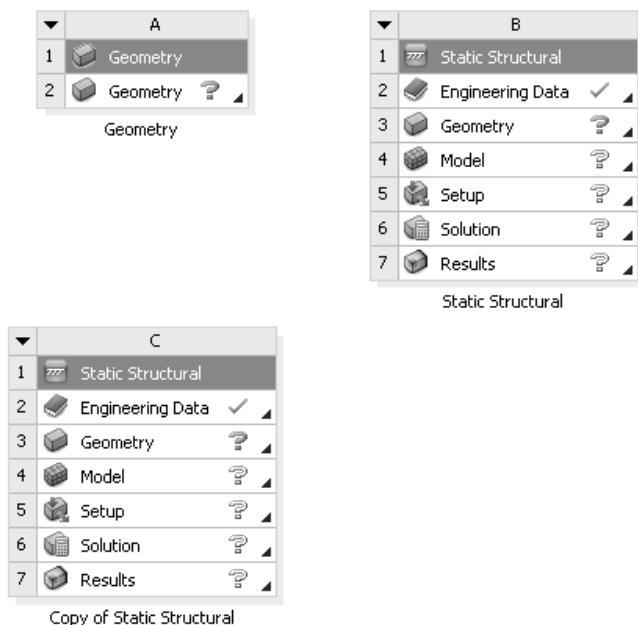


图 1.4.21 移动项目列表

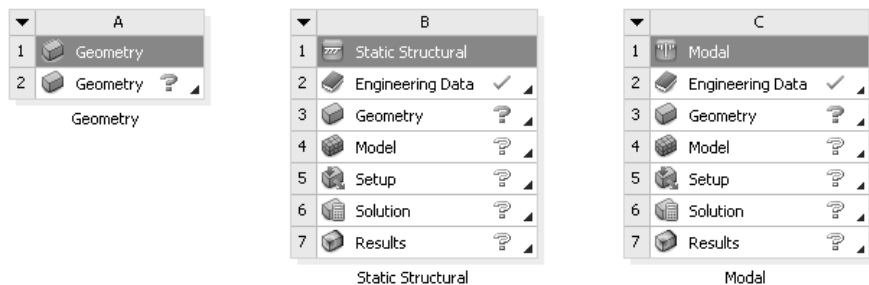


图 1.4.22 替换项目列表

1.5 ANSYS Workbench 线性静态结构分析流程

在 ANSYS Workbench 14.0 中进行静态结构分析的一般流程如下所述。

- (1) 确定结构分析方案。对于桁架、壳、实体等不同结构，在 ANSYS Workbench 中都有着不同的分析方法。
- (2) 定义模型的材料属性。
- (3) 创建分析几何模型。使用 ANSYS Workbench 中的 DesignModeler 建模平台完成分析几

何模型的创建，或者使用其他 CAD 软件完成几何模型的创建。

(4) 创建有限元模型。根据实际情况定义载荷和约束条件，使用网格划分工具划分网格，根据分析需要，正确定义接触。

(5) 分析设置与求解。注意设置合适的求解选项与求解结果项。

(6) 查看与评估求解结果。

1.6 ANSYS Workbench 文件操作与管理

1.6.1 文件操作

1. 打开文件

下面首先介绍打开文件的一般操作过程。

步骤 01 选择 **File** → **Open...** 命令(或单击 **Open...** 按钮), 弹出图 1.6.1 所示的“打开”对话框。

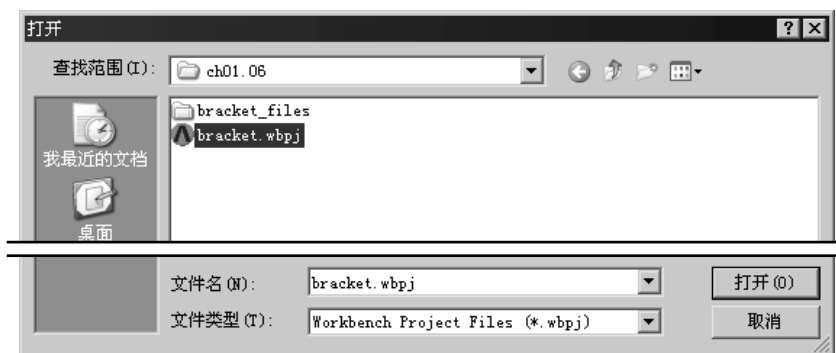


图 1.6.1 “打开”对话框

步骤 02 在该对话框的 **查找范围(I):** 下拉列表框中, 选择需要打开的文件所在的目录(如 D:\ansc14.0\work\ch01.06), 在 **文件名(N):** 文本框中输入文件名称(如 bracket.wbpj)。

步骤 03 单击 **打开(O)** 按钮, 即可打开文件。



打开的文件经过修改后, 再次选择打开命令, 弹出图 1.6.2 所示的“ANSYS Workbench”对话框。单击对话框中的 **Yes** 按钮, 系统将对修改的结果进行保存, 然后打开另一个文件; 单击对话框中的 **No** 按钮, 则不对修改结果进行保存, 而是直接打开另一个文件。

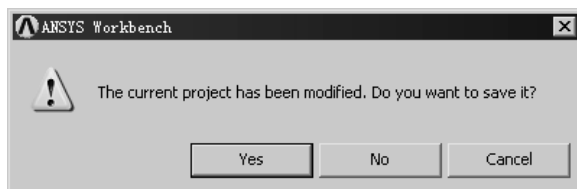


图 1.6.2 “ANSYS Workbench”对话框

2. 保存文件

下面介绍保存文件的一般操作过程。

步骤01 选择 **File** → **Save** 命令 (或单击 **Save** 按钮), 弹出图 1.6.3 所示的“另存为”对话框。

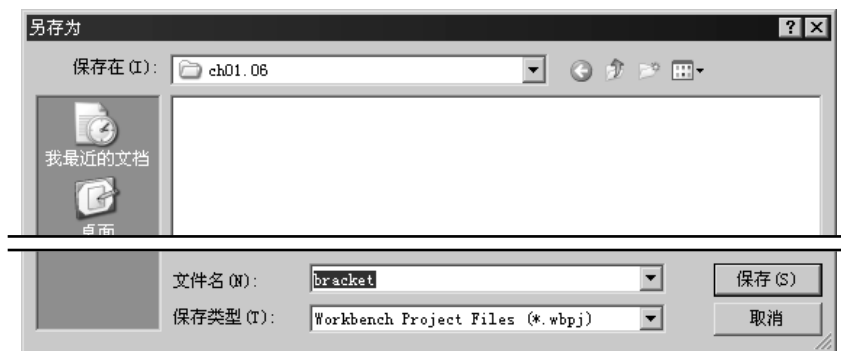


图 1.6.3 “另存为”对话框

步骤02 在对话框的 **保存在(I):** 下拉列表框中, 选择需保存文件所在的目录 (如 D:\ansc14.01\work\ch01.06), 在 **文件名(N):** 文本框中输入部件名称 (如 bracket)。

步骤03 单击 **保存(S)** 按钮, 即可保存文件。

3. 另存为文件

选择 **File** → **Save As...** 命令, 弹出“另存为”对话框, 选择保存文件目录并输入保存文件名称即可保存文件, 具体操作请参考“保存文件”相关步骤。

1.6.2 文件管理

在 ANSYS Workbench 14.0 中是通过创建一个项目文件和一系列子目录来管理所有相关文件的。在这些目录中, 一般不要随便手动修改其内容或结构的项目目录。当创建了单个项目保存文件 (格式为.wbj) 后, 用户指定的项目文件名称 (如 support.wbj)、一些子目录等都将被创建在该项目目录下 (练习本小节内容, 读者可打开文件 “D:\ansc14.01\work

\ch01.06\bracket.wbpj”), 如图 1.6.4 所示。

ANSYS Workbench 14.0 文件格式的目录结构如下。

- ◆ **dpn**: 设计点目录, 是所有参数的分析所必需的。一个单独的分析中将只有一个“dp0”目录。
- ◆ **global**: 包含每个分析中每个程序的子目录(如“MECH”目录将包含数据库和其他相关文件)。
- ◆ **SYS**: 包含项目中每个系统类型的子目录(如 Mechanical、Fluent、CFX 等)。每个系统目录包含求解详细文件(如 MECH 子目录包含结果文件 ds.dat 文件和 solve.out 文件等)。
- ◆ **user_files**: 包含和项目相关的输入文件和用户宏文件。

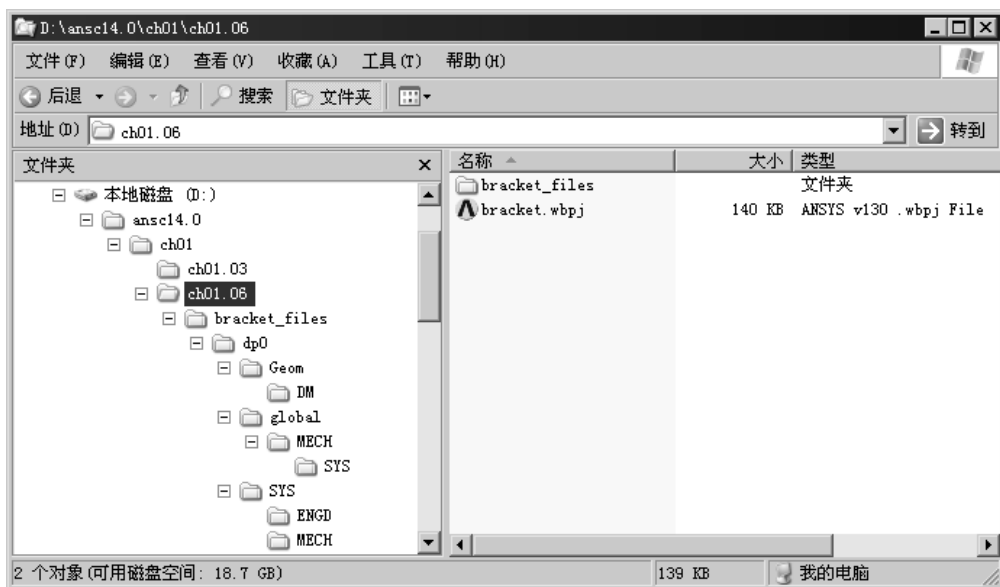


图 1.6.4 Workbench 14.0 文件管理

选择 **View** → **Files** 命令, 打开图 1.6.5 所示的窗口, 在该窗口中可以查看整个项目相关文件细节。

为了更有效地管理文件, 在 ANSYS Workbench 14.0 中选择 **File** → **Archive...** 命令, 弹出图 1.6.6 所示的“Save Archive”对话框, 输入保存文件名称, 单击 **保存(S)** 按钮, 弹出图 1.6.7 所示的“Archive Options”对话框, 采用默认设置, 单击 **Archive** 按钮, 可快速生成一个单一的压缩文件, 其中包含所有与项目相关的文件; 选择 **File** → **Restore Archive...** 命令, 可打开该压缩文件。

Files						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	Cell ID	Size	Type	Date Modified	Location
2	bracket.wbpj		139 KB	ANSYS Project File	2014-6-4 20:09:42	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06
3	Geom.agdb	A2,B3	1 MB	Geometry File	2014-6-4 19:59:18	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\Geom\DM
4	material.engd	B2	18 KB	Engineering Data File	2014-6-4 19:59:06	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\ENGD
5	SYS.engd	B4	18 KB	Engineering Data File	2014-6-4 19:59:06	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\global\MECH
6	SYS.mechdb	B4	817 KB	Mechanical Database File	2014-6-4 20:02:02	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\global\MECH
7	EngineeringData.xml	B2	17 KB	Engineering Data File	2014-6-4 20:09:42	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\ENGD
8	designPoint.wbdp		72 KB	Design Point File	2014-6-4 20:09:42	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0
9	MatML.xml	B	18 KB	CAERep File	2014-6-4 20:01:50	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
10	CAERep.xml	B	12 KB	CAERep File	2014-6-4 20:01:50	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
11	ds.dat	B	2 MB	.dat	2014-6-4 20:01:50	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
12	solve.out	B	22 KB	.out	2014-6-4 20:01:58	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
13	file.err	B	599 B	.err	2014-6-4 20:01:58	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
14	file.rst	B	12 MB	ANSYS Result File	2014-6-4 20:01:58	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
15	file.PCS	B	2 KB	.PCS	2014-6-4 20:01:58	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH
16	CAERepOutput.xml	B	849 B	CAERep File	2014-6-4 20:01:58	D:\ansc14.0\ch01\ch01.06\bracket_files\dp0\SYS\MECH

图 1.6.5 查看文件细节

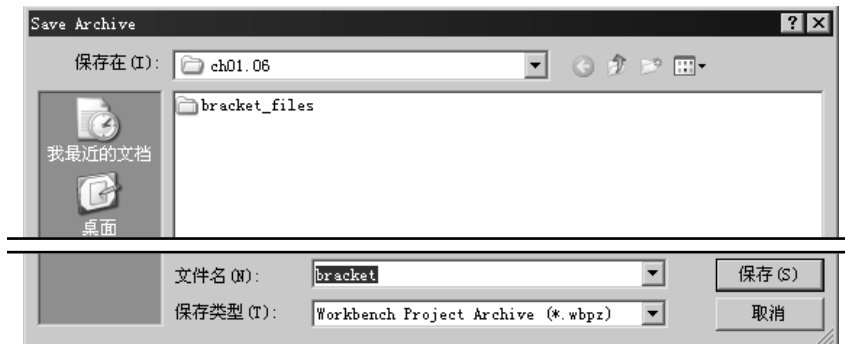


图 1.6.6 “Save Archive”对话框

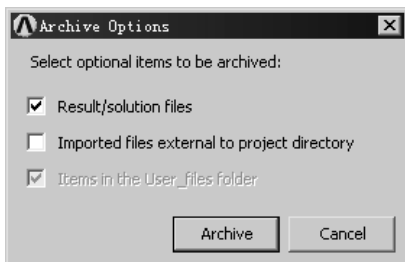


图 1.6.7 “Archive Options”对话框

图 1.6.7 所示的“Archive Options”对话框中各选项说明如下所列。

- ◆ ☒ Result/solution files 选项：选中该选项，系统将对 Result 和 solution 文件进行压缩。
- ◆ ☒ Imported files external to project directory 选项：选中该选项，系统将导入的文件扩展到项目文件夹中并压缩。
- ◆ ☒ Items in the User_files folder 选项：选中该选项，系统将对 User_files 文件夹中的文件进行压缩。

第 2 章 ANSYS Workbench 基础操作

2.1 概述

本章主要介绍使用 ANSYS Workbench 中的一些基本操作，基本涵盖了 ANSYS Workbench 有限元分析过程中包括前处理、求解及后处理中经常进行的一些基本操作，对于将来顺利完成有限元分析非常有帮助。

主要包括以下内容。

- ◆ 设计数据管理：用于管理分析项目中的设计数据，主要包括材料属性的设置管理及设计参数的管理等。
- ◆ 选择工具：在分析过程中很多时候需要选择几何体对象，在 ANSYS Workbench 中提供了多种用于选择几何体的工具，主要包括一般选择工具和命名选择工具。
- ◆ 虚拟拓扑：由于 ANSYS Workbench 几何建模功能相对来说比较弱，与其他 CAD 软件存在很大差距，很多时候分析模型都是从其他 CAD 中导入的，在导入过程中可能会存在一些差异，使用虚拟拓扑工具可以进行有效的修复。
- ◆ 求解选项设置：对于不同的分析项目都有着不同的分析流程，也有着不同的分析求解要求与设置，对于求解器的设置，能够帮助人们得到所需要的求解结果。
- ◆ 分析结果：完成有限元分析后，会得到一些分析结果，这些结果都是在设计过程中比较关心的结果，可以根据设计需要进行定制。
- ◆ 结果后处理工具：得到分析结果后，需要对结果进行查看与评估，对分析结果进行必要的分析，从而反馈设计。

2.2 设计数据管理

2.2.1 设计数据管理用户界面

设计数据的管理需要进入设计数据管理界面，有以下两种方法进入设计数据管理界面，具体操作如下所述。

方法一：创建一个“Engineering Data”项目列表直接进入设计数据管理界面。

步骤 01 创建“Engineering Data”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具

箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Engineering Data** 选项，新建一个“Engineering Data”项目列表。

步骤 02 进入设计数据管理界面。在“Engineering Data”项目列表中双击 **Engineering Data**，进入设计数据管理界面，如图 2.2.1 所示。

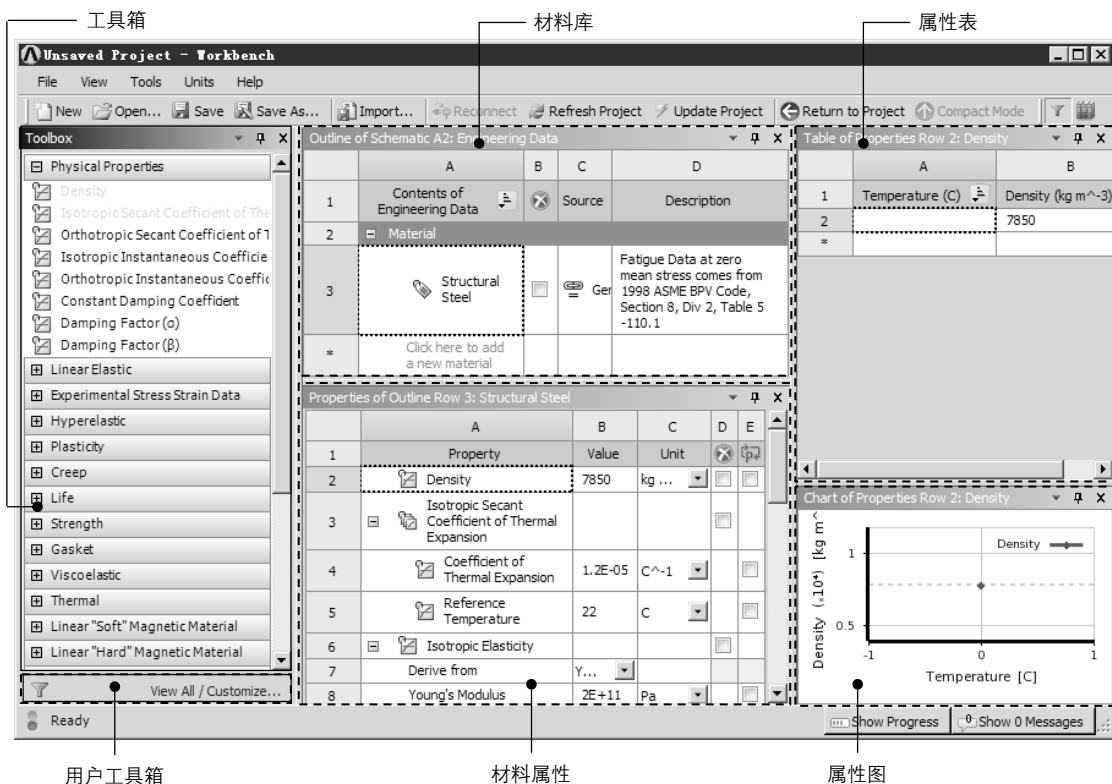


图 2.2.1 设计数据管理界面

方法二：从其他分析项目列表进入设计数据管理界面。

在具体的分析项目列表中也会包含 **Engineering Data** 内容，直接双击 **Engineering Data** 即可进入设计数据管理界面。



无论是新建一个“Engineering Data”项目列表，还是任何一个分析项目列表，对于 **Engineering Data** 数据都是确定的，系统都默认给定设计数据，包括材料属性，默认的材料是“Structural Steel（结构钢）”，所以在分析过程中，如果没有指定材料属性，系统将以默认的 Structural Steel（结构钢）为材料进行分析。

设计数据管理界面主要由工具箱、用户工具箱、材料库、材料属性、属性表和属性图组成。

1. 工具箱

工具箱中包括所有材料属性，这些属性主要用于定义新材料，如图 2.2.2 所示。

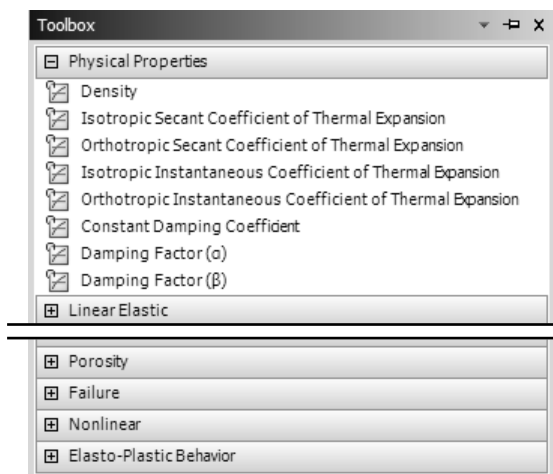


图 2.2.2 工具箱

2. 用户工具箱

通常情况下，用户工具箱窗口是关闭的，在工具箱底部单击 **View All / Customize...** 按钮，打开图 2.2.3 所示的用户工具箱窗口，在窗口中勾选任意项目图标，即可将其显示在工具箱中，方便以后的调用。单击工具箱底部的 **<< Back** 按钮，关闭用户工具箱。

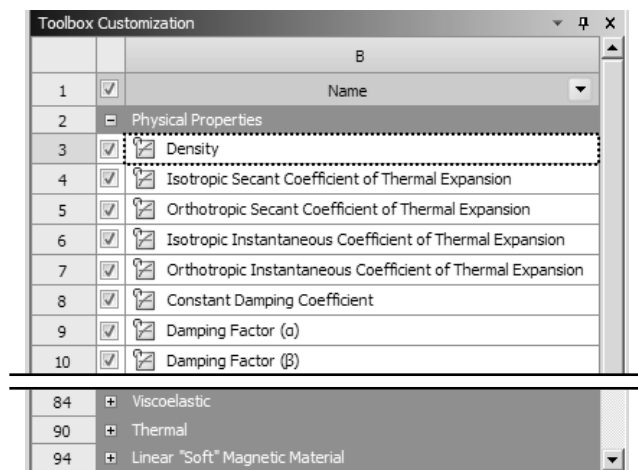



图 2.2.3 用户工具箱

3. 材料库

材料库用于管理当前分析中的可用材料及新建材料，在默认情况下，材料库中仅有一种系统默认材料 **Structural Steel** (结构钢)，如图 2.2.4 所示。

4. 材料属性

材料属性区域用于显示选定材料的所有属性,在默认情况下显示的是  Structural Steel 材料的相关属性,如图 2.2.5 所示。




Outline of Schematic A2: Engineering Data			
	A	B	C
1	Contents of Engineering Data		Source
2	Material		Description
3	 Structural Steel		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110. 1
*	Click here to add a new material		

图 2.2.4 材料库














Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	 Density	7850	kg m ⁻³	
3				
4		1.2E-05	C ⁻¹	
5		22	C	
6				
7	Derive from	Young's M...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.3		

图 2.2.5 材料属性

5. 属性表

图 2.2.6 所示的属性表用于以表格形式显示选定材料属性的详细信息。

6. 属性图

图 2.2.7 所示的属性图用于以图表形式显示选定材料属性的详细信息。

Table of Properties Row 2: Density		
	A	B
1	Temperature (C)	Density (kg m ⁻³)
2		7850
*		

图 2.2.6 属性表

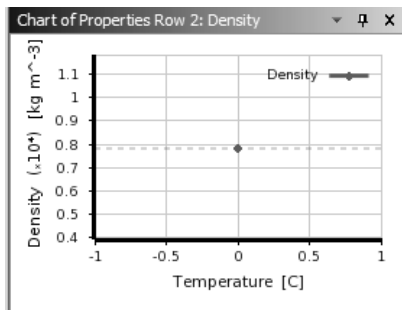


图 2.2.7 属性图

2.2.2 定义新材料

在 ANSYS Workbench 中可以很方便地根据分析需要定义一种新材料,包括材料的所有属性,然后将材料应用到几何体上。下面介绍定义一种新材料(材料名称为 material001,材料密度为 7.5kg/m^3 ,其他属性不考虑),并将新材料赋给分析模型的一般操作过程。

1. 定义新材料

步骤 01 创建“Engineering Data”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Engineering Data** 选项,新建一个“Engineering Data”项目列表。

步骤 02 进入到设计数据管理界面。在“Engineering Data”项目列表中双击 **Engineering Data**,进入设计数据管理界面。

步骤 03 定义新材料。在 **Outline of Schematic A2: Engineering Data** 窗口中单击 **Click here to add a new material** 单元格,然后输入材料名称 material001 并按 Enter 键确认,此时该窗口如图 2.2.8 所示。

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	Source	Description	
2	Material			
3	Structural Steel	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1	
4	material001			
*	Click here to add a new material			

图 2.2.8 材料库

步骤 04 定义材料密度。在“Toolbox”工具箱中双击 **Physical Properties** 区域中的 **Density** 选项,将其添加到新建材料的属性窗口中;在 **Properties of Outline Row 3: material001** 属性窗口中单击 **Density** 项目后的单元格,然后输入数值 7.5,保持默认的单位不变,此时该窗口如图 2.2.9 所示。

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7.5	kg m^-3		

图 2.2.9 材料属性

步骤 05 返回主界面。在工具栏中单击 **Return to Project** 按钮,返回到项目主界面。

2. 将材料赋给分析模型

步骤 01 新建静态结构分析项目列表。在“Toolbox”工具箱中选中 **Analysis Systems** 区域中

的 **Static Structural** 选项，将其拖动到“Engineering Data”项目列表上，结果如图 2.2.10 所示。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 项目，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，弹出“打开”对话框，选择文件 D:\ansc14.0\work\ch02.02\bracket.stp 并打开。

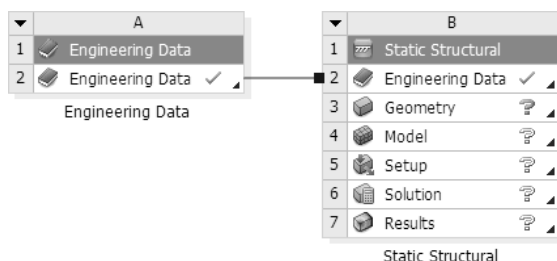


图 2.2.10 新建静态结构分析项目

步骤 03 进入分析。在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 项目，进入分析环境界面。

步骤 04 设置材料属性。

(1) 在图 2.2.11 所示的窗口中选中 **7-2** 几何体对象。

(2) 然后在图 2.2.12 所示的“Details of ‘7-2’”窗口中单击 **Structural Steel** 后的按钮，在弹出的下拉列表中选择 **material001** 选项。

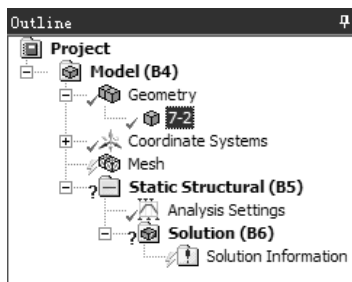


图 2.2.11 选择几何体

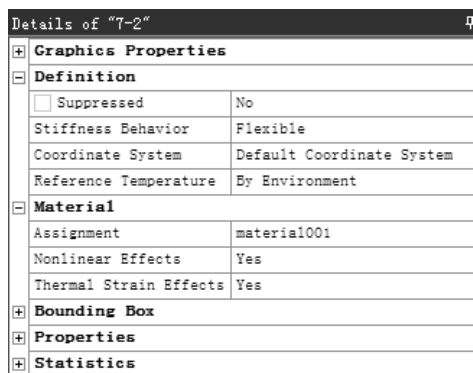


图 2.2.12 设置材料属性

步骤 05 至此新的材料属性已经赋予了所选择的几何体。

2.2.3 材料数据库管理器

材料数据库管理器用于管理和新建材料库，在设计数据管理界面中单击“Engineering Data Sources”按钮，进入到图 2.2.13 所示的材料数据库管理界面，不难看出，与设计数据管理界面基本类似，仅多出了材料数据库区域。

1. 材料数据库

材料数据库用于管理 ANSYS Workbench 所有的材料数据及新建材料库，如图 2.2.14 所示。

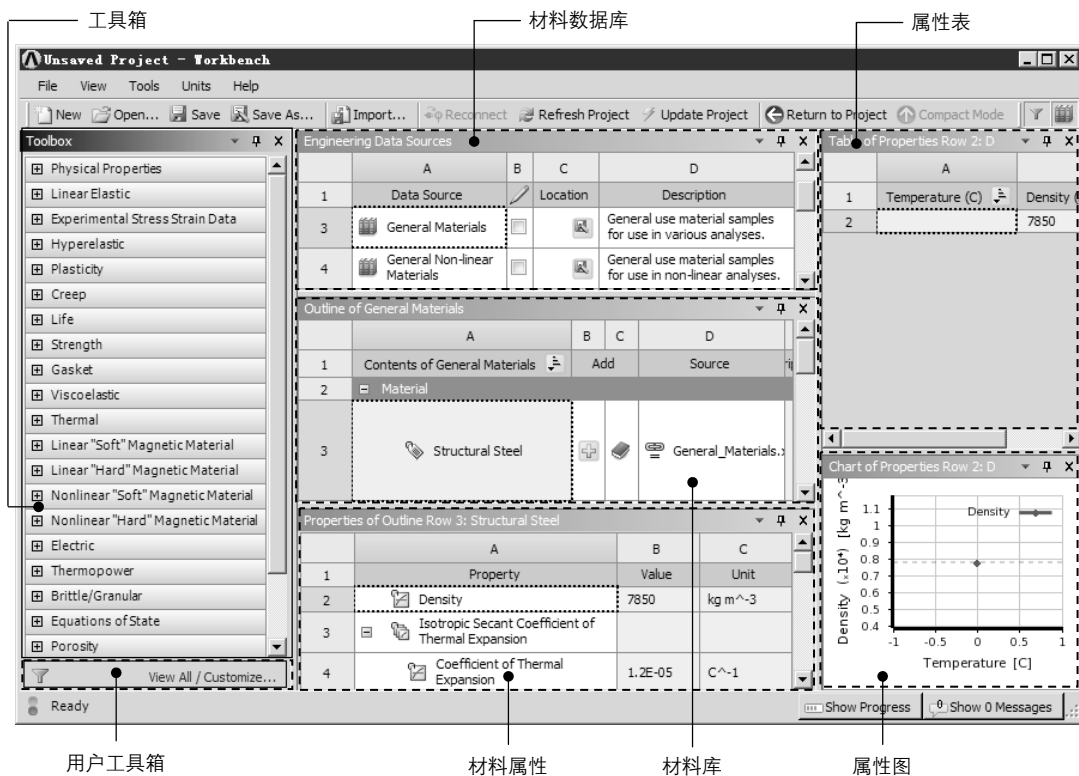


图 2.2.13 材料数据库管理界面

Engineering Data Sources			
	A	B	C
1	Data Source	Location	Description
2	★ Favorites		Quick access list and default items
3	General Materials		General use material samples for use in various analyses.
4	General Non-linear Materials		General use material samples for use in non-linear analyses.
5	Explicit Materials		Material samples for use in an explicit analysis.
6	Hyperelastic Materials		Material stress-strain data samples for curve fitting.
7	Magnetic B-H Curves		B-H Curve samples specific for use in a magnetic analysis.
8	Thermal Materials		Material samples specific for use in a thermal analysis.
9	Fluid Materials		Material samples specific for use in a fluid analysis.
*	Click here to add a new library		...

图 2.2.14 材料数据库

2. 材料库

在材料数据库中选中一种材料库，该材料库中的所有材料将显示在材料库中，如图 2.2.15

所示。

Outline of General Materials					
	A	B	C	D	E
1	Contents of General Materials		Add	Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel	+	General_Materials.xml		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
4	Air	+	General_Materials.xml		General properties for air.
5	Aluminum Alloy	+	General_Materials.xml		General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
6	Concrete	+	General_Materials.xml		
7	Copper Alloy	+	General_Materials.xml		
8	Gray Cast Iron	+	General_Materials.xml		
9	Magnesium Alloy	+	General_Materials.xml		
10	Polyethylene	+	General_Materials.xml		
11	Stainless Steel	+	General_Materials.xml		
12	Titanium Alloy	+	General_Materials.xml		
13	Silicon Anisotropic	+	General_Materials.xml		

图 2.2.15 材料库

2.2.4 定义新材料库

在 ANSYS Workbench 中可以很方便地根据需要定义一种新材料库，用于管理经常用到的材料，方便在分析工作中调用。下面具体介绍定义新材料库的一般操作过程。

步骤 01 创建“Engineering Data”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Engineering Data** 选项，新建一个“Engineering Data”项目列表。

步骤 02 进入材料数据库管理界面。在“Engineering Data”项目列表中双击 **Engineering Data**，进入设计数据管理界面；然后单击工具栏中的“Engineering Data Sources”按钮，系统进入材料数据库管理界面。

步骤 03 定义新的材料库。在图 2.2.16 所示的“Engineering Data Sources”窗口中单击 **Click here to add a new library** 单元格，然后输入库名称 static analysis material 并按 Enter 键确认；此时弹出“另存为”对话框，输入文件名称 static analysis material，并选择保存目录为 D:\ansc14.0\work\ch02.02，单击 **保存(S)** 按钮完成保存。

步骤 04 添加材料项目。

(1) 在“Engineering Data Sources”窗口中单击 **General Materials** 项目，此时“Outline of General Materials”窗口中显示该材料库中的所有材料（图 2.2.17）。

(2) 选中图 2.2.17 所示的 **Aluminum Alloy** 材料项目，将其拖动到前面新建的材料库项目单元格中。

Engineering Data Sources				
	A	B	C	D
1	Data Source		Location	Description
2	★ Favorites			Quick access list and default items
3	📁 General Materials	<input type="checkbox"/>		General use material samples for use in various analyses.
4	📁 General Non-linear Materials	<input type="checkbox"/>		General use material samples for use in non-linear analyses.
5	📁 Explicit Materials	<input type="checkbox"/>		Material samples for use in an explicit analysis.
6	📁 Hyperelastic Materials	<input type="checkbox"/>		Material stress-strain data samples for curve fitting.
7	📁 Magnetic B-H Curves	<input type="checkbox"/>		B-H Curve samples specific for use in a magnetic analysis.
8	📁 Thermal Materials	<input type="checkbox"/>		Material samples specific for use in a thermal analysis.
9	📁 Fluid Materials	<input type="checkbox"/>		Material samples specific for use in a fluid analysis.
*	Click here to add a new library		...	

图 2.2.16 材料数据库

Outline of General Materials				
	A	B	C	D
1	Contents of General Materials	Add	Source	Description
2	📁 Material			
3	📁 Structural Steel	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	📁 Air	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	General properties for air.
5	📁 Aluminum Alloy	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
6	📁 Concrete	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
7	📁 Copper Alloy	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
8	📁 Gray Cast Iron	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
9	📁 Magnesium Alloy	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
10	📁 Polyethylene	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
11	📁 Stainless Steel	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
12	📁 Titanium Alloy	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	
13	📁 Silicon Anisotropic	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	

图 2.2.17 选择库材料


(3) 参照此操作方法，依次将其余的材料项目（如 Copper Alloy、 Gray Cast Iron、 Titanium Alloy、 Silicon Anisotropic）添加到新建材料的属性窗口中。

步骤05 保存材料库。在“Engineering Data Sources”窗口中单击 static analysis material 项目后面的 按钮，完成材料库的保存。

步骤06 添加材料到项目。在“Engineering Data Sources”窗口中单击 static analysis material 项目，取消选中其后的 ☐ 按钮，使其处于非编辑状态；然后在“Outline of static analysis material”窗口中依次单击各个材料项目后的 按钮，将所需要的材料添加到项目中，此时该窗口如图 2.2.18 所示。

Outline of static analysis material				
	A	B	C	D
1	Contents of static analysis material	Add	Source	Description
2	Material			
3	Aluminum Alloy	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
4	Copper Alloy	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0	
5	Gray Cast Iron	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0	
6	Titanium Alloy	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0	
7	Silicon Anisotropic	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0	

图 2.2.18 新的库材料

步骤 07 返回设计数据管理界面。在工具栏中单击  按钮，返回设计数据管理界面，此时“Outline of Schematic”窗口显示如图 2.2.19 所示。

Outline of Schematic A2: Engineering Data			
	A	B	C
1	Contents of Engineering Data		Source
2	Material		Description
3	Structural Steel	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml
4	material001	<input type="checkbox"/>	
5	Aluminum Alloy	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0
6	Copper Alloy	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0
7	Gray Cast Iron	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0
8	Titanium Alloy	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0
9	Silicon Anisotropic	<input checked="" type="checkbox"/>	D:\ansc14.0\ch02\ch0
*	Click here to add a new material		

图 2.2.19 “Outline of Schematic”窗口

2.3 设计参数设置

2.3.1 概述

在 ANSYS Workbench 中灵活定义设计参数并参与到分析中是非常有用的，它能够帮助我们快速分析出分析过程中输入参数与输出参数之间的关系，对于优化设计分析非常有用。

ANSYS Workbench 中的设计参数可以在以下几个地方定义。

- ◆ 设计参数可以在材料属性列表中定义。在图 2.3.1 所示的材料属性列表中选中某一材料属性对应的 E 列中的复选框，即可将该材料属性设置为设计。该参数作为输入参数参与到分析中。
- ◆ 设计参数可以在各详细列表中定义。在图 2.3.2 所示的详细列表中，选中 **P Magnitude** 前

的复选框，即可将该参数定义为设计参数，因为该详细列表是在定义载荷力的时候弹出的，此处将力的大小定义为设计参数，作为输入参数参与到分析中。

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m ⁻³	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			<input type="checkbox"/>	
4	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹	<input type="checkbox"/>	
5	Reference Temperature	22	C	<input type="checkbox"/>	

图 2.3.1 在材料属性列表中定义设计参数



图 2.3.3 所示的详细列表，是在定义应力结果时出现的，在该详细列表中选择 **P Minimum** 和 **P Maximum** 前的复选框，即可将最小与最大应力值作为设计参数参与到分析中，因为这两个参数是在分析完成后得出的结果，所以该参数属于输出参数。

Details of "Force"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Force
Define By	Vector
P Magnitude	-500. N (ramped)
Direction	Click to Change
Suppressed	No

图 2.3.2 在详细列表中定义设计参数（一）

Details of "Equivalent Stress"	
Scope	
Definition	
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Results	
P Minimum	5.5865e-003 MPa
P Maximum	50.732 MPa
Information	

图 2.3.3 在详细列表中定义设计参数（二）

定义完设计参数后，返回到 ANSYS Workbench 主界面，在项目列表中双击 **Parameter Set**，进入设计参数管理界面，如图 2.3.4 所示。

设计参数管理界面主要由工具箱、用户工具箱、参数列表、参数属性列表、参数设计表和参数图表等区域组成，其中工具箱和用户工具箱与前面介绍的作用是一样的，此处不再赘述。

1. 参数列表

参数列表用于管理所有设计参数，如图 2.3.5 所示。

2. 参数属性列表

在参数列表中选中某一参数，将在该列表区域显示参数详细属性信息，如图 2.3.6 所示。

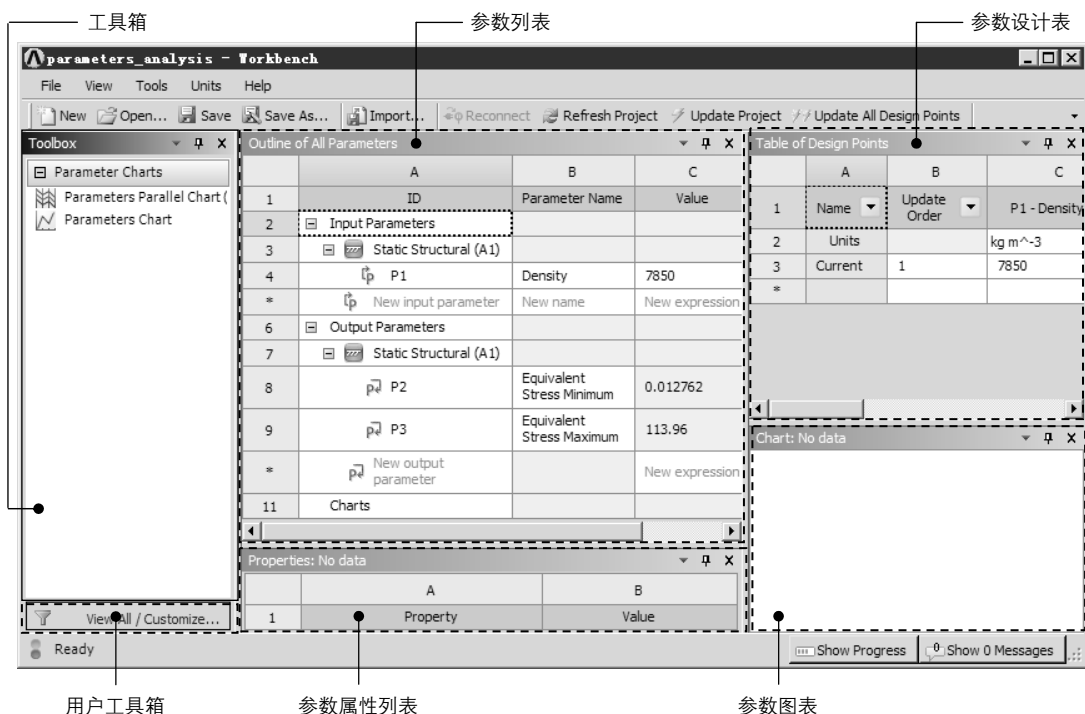


图 2.3.4 设计参数管理界面

Outline of All Parameters				
	A	B	C	D
1	ID	Parameter Name	Value	Unit
2	Input Parameters			
3	Static Structural (A1)			
4	P1	Density	7850	kg m ⁻³
*	New input parameter	New name	New expression	
6	Output Parameters			
7	Static Structural (A1)			
8	P2	Equivalent Stress Minimum	0.012762	MPa
9	P3	Equivalent Stress Maximum	113.96	MPa
*	New output parameter		New expression	
11	Charts			

图 2.3.5 参数列表

Properties of Outline A4: P1		
	A	B
1	Property	Value
2	General	
3	Expression	7850 [kg m ⁻³]
4	Description	
5	Error Message	
6	Expression Type	Constant
7	Usage	Input
8	Quantity Name	Density

图 2.3.6 参数属性列表

3. 参数设计表

参数设计表用于定义设计情形参数,在该设计表中修改不同的输入参数,经过更新后可以得到相应的输出结果值,如图 2.3.7 所示。

Table of Design Points							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name ▼	Update Order ▼	P1 - Density ▼	P2 - Equivalent Stress Minimum ▼	P3 - Equivalent Stress Maximum ▼	Exported	Note ▼
2	Units		kg m ⁻³ ▼	MPa	MPa		
3	Current	1	7850	0.012762	113.96		
*						<input type="checkbox"/>	

图 2.3.7 参数设计表

在参数设计表中的 **Current** 单元格中右击,在弹出的快捷菜单中选择 **Duplicate Design Point** 命令,可以增加一行设计节点(设计情形),在每一种设计节点中可以修改某一些设计参数,如图 2.3.8 所示。

Table of Design Points							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Name ▼	Update... ▼	P1 - Density ▼	P2 - Equival... ▼	P3 - Equivale... ▼	<input type="checkbox"/> Exported	Note ▼
2	Units		kg m ⁻³ ▼	MPa	MPa		
3	Current	1	7850	0.012762	113.96		
4	DP 1	2	8000	↗	↗	<input type="checkbox"/>	
5	DP 2	3	9000	↗	↗	<input type="checkbox"/>	
*						<input type="checkbox"/>	

图 2.3.8 增加与修改参数设计表

2.3.2 参数设置操作

图 2.3.9 所示的支架模型,支架上的两个小孔位置被完全固定,支架上部圆柱端面受到一个竖直向下的载荷力作用,现在要分析材料的密度、载荷力大小与最小应力、最大应力及最大位移变形之间的关系。

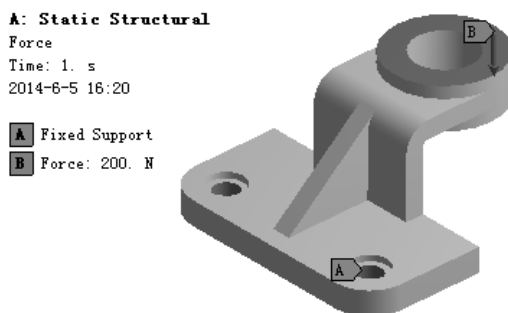


图 2.3.9 参数设置实例



对于这类分析问题,首先要确定问题中的输入参数(已知条件)和输出参数,改变问题中




的输入参数，然后更新，得到相应条件下的输出参数。

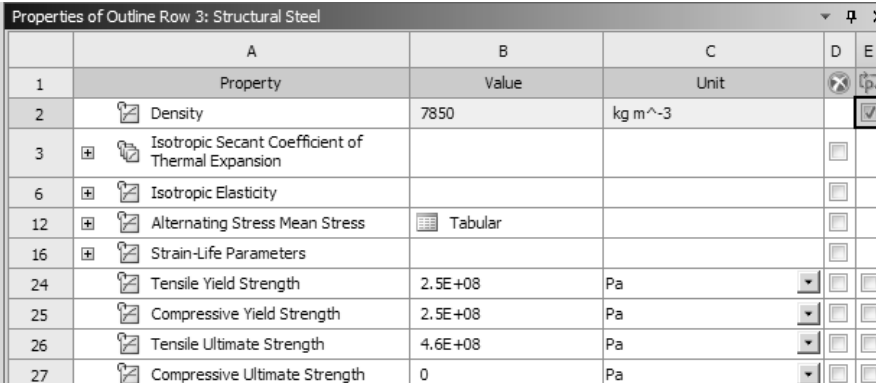
初始情况下，材料密度为 7850kg/m^3 、载荷力大小为 200N ；在这种情况下，最小应力和最大应力分别为 0.010444MPa 和 5.8417MPa ，最大位移变形为 0.020889mm 。需要分析当材料密度分别为 7000kg/m^3 和 6500kg/m^3 ，载荷力大小分别为 350N 、 220N 和 100N 时的最大、最小应力及最大位移变形结果。

下面具体介绍其分析的一般操作过程。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.01\work\ch02.03\parameters-set.wbpj。”

步骤 02 进入到设计数据管理界面。在 “Static Structural” 项目列表中双击  Engineering Data ，进入设计数据管理界面。

步骤 03 设置输入参数 1。在 “Outline of General Materials” 窗口中选中默认的材料选项  Structural Steel，然后在其属性窗口中选中  Density 后面的复选框（图 2.3.10），此时密度属性被设置为输入参数，单击工具栏中的  Return to Project 按钮，返回到主界面，此时的项目列表如图 2.3.11 所示。















	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	 Density	7850	kg m^{-3}	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	 Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	 Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	 Alternating Stress Mean Stress	Tabular		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	 Strain-Life Parameters			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	 Tensile Yield Strength	$2.5\text{E}+08$	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	 Compressive Yield Strength	$2.5\text{E}+08$	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	 Tensile Ultimate Strength	$4.6\text{E}+08$	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>




图 2.3.10 设置输入参数


步骤 04 设置输入参数 2。

（1）在 “Engineering Data” 项目列表中双击  Model ，进入模型界面。

（2）在图 2.3.12 所示的 “Outline” 窗口中选中  Force 节点，然后在图 2.3.13 所示的 “Details of ‘Force’” 对话框中选中  P Magnitude，将载荷力作为第 2 个输入参数。

步骤 05 设置输出参数。

（1）在图 2.3.12 所示的 “Outline” 窗口中选中  Equivalent Stress 节点，然后在图 2.3.14 所示的 “Details of ‘Equivalent Stress’” 对话框中选中  P Minimum 和  P Maximum，将最小和最大应力作为输出参数。

（2）在图 2.3.12 所示的 “Outline” 窗口中选中  Total Deformation 节点，然后在图 2.3.15 所示

的“Details of ‘Total Deformation’”对话框中选中 **P Maximum** 项目，将最大位移作为输出参数。

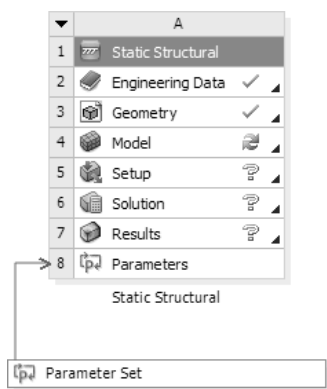


图 2.3.11 项目列表

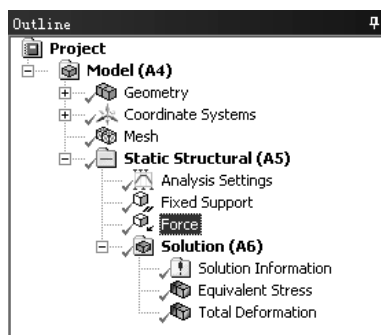


图 2.3.12 “Outline”窗口

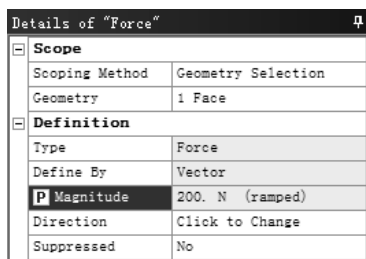


图 2.3.13 “Details of ‘Force’”对话框

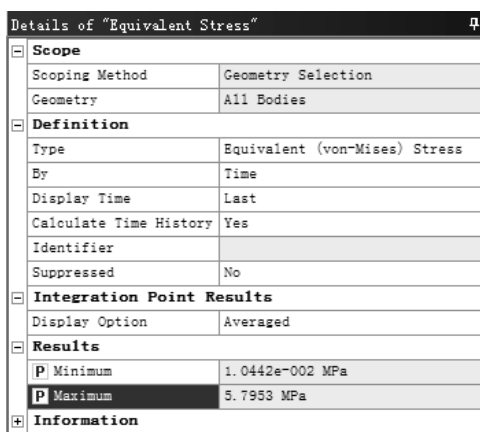


图 2.3.14 “Details of ‘Equivalent Stress’”对话框

步骤 06 定义设计参数值。

(1) 定义完设计参数后，切换到主界面，此时的项目列表如图 2.3.16 所示，双击 **Parameter Set**，进入设计参数管理界面，可以在“Outline of All Parameters”窗口查看已经定义各个参数，如图 2.3.17 所示。

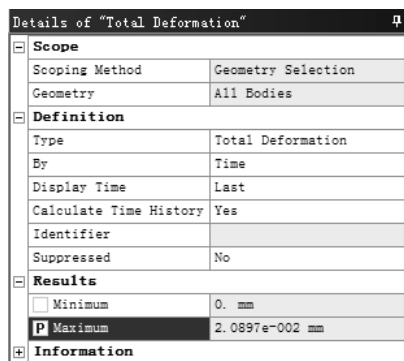


图 2.3.15 “Details of ‘Total Deformation’”对话框

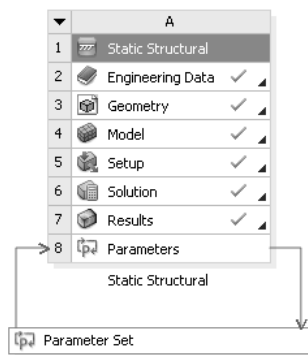


图 2.3.16 项目列表

Outline of All Parameters				
	A	B	C	D
1	ID	Parameter Name	Value	Unit
2	Input Parameters			
3	Static Structural (A1)			
4	P1	Density	7850	kg m ⁻³
5	P2	Force Magnitude	200	N
*	New input parameter	New name	New expression	
7	Output Parameters			
8	Static Structural (A1)			
9	P3	Equivalent Stress Minimum	0.010442	MPa
10	P4	Equivalent Stress Maximum	5.7953	MPa
11	P5	Total Deformation Maximum	0.020897	mm
*	New output parameter		New expression	
13	Charts			

图 2.3.17 查看设计参数

(2) 在图 2.3.18 所示的“Table of Design Points”窗口中右击 **Current** 单元格，在弹出的快捷菜单中选择 **Duplicate Design Point** 命令；再重复该复制操作 4 次，此时该窗口显示如图 2.3.18 所示。

(3) 在图 2.3.19 所示的窗口中修改输入参数值，结果如图 2.3.19 所示。

Table of Design Points						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Density	P2 - Force Magnitude	P3 - Equivalent Stress Minimum	P4 - Equivalent Stress Maximum	P5 - Total Deformation Maximum
2	Units	kg m ⁻³	N	MPa	MPa	mm
3	Current	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
4	DP 1	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
5	DP 2	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
6	DP 3	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
7	DP 4	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
8	DP 5	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
*						

图 2.3.18 “Table of Design Points”窗口（一）

Table of Design Points						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Density	P2 - Force Magnitude	P3 - Equivalent Stress Minimum	P4 - Equivalent Stress Maximum	P5 - Total Deformation Maximum
2	Units	kg m ⁻³	N	MPa	MPa	mm
3	Current	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
4	DP 1	7000	200	⚡	⚡	⚡
5	DP 2	6500	200	⚡	⚡	⚡
6	DP 3	7850	350	⚡	⚡	⚡
7	DP 4	7850	220	⚡	⚡	⚡
8	DP 5	7850	100	⚡	⚡	⚡
*						

图 2.3.19 “Table of Design Points”窗口（二）

步骤 07 更新计算结果数值。单击工具栏中的 **Update All Design Points** 按钮，在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中单击 **OK** 按钮，系统开始计算，计算结果如图 2.3.20 所示。

步骤 08 保存文件。选择 **File** → **Save** 命令，保存项目文件。

Table of Design Points						
	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Density	P2 - Force Magnitude	P3 - Equivalent Stress Minimum	P4 - Equivalent Stress Maximum	P5 - Total Deformation Maximum
2	Units	kg m^-3	N	MPa	MPa	mm
3	Current	7850	200	0.010442	5.7953	0.020897
4	DP 1	7000	200	0.010442	5.7953	0.020897
5	DP 2	6500	200	0.010442	5.7953	0.020897
6	DP 3	7850	350	0.018273	10.142	0.036569
7	DP 4	7850	220	0.011486	6.3749	0.022986
8	DP 5	7850	100	0.005221	2.8977	0.010448
*						

图 2.3.20 “Table of Design Points” 窗口 (三)

2.4 几何属性设置

2.4.1 导入几何体

ANSYS Workbench 的分析对象是几何体，几何体的导入主要有两种方法：一种是直接在 ANSYS Workbench 的专有建模平台中创建；另外一种是从外部 CAD 系统中导入。一般情况下，用于分析的几何体都是从外部 CAD 软件中导入 ANSYS Workbench 中进行分析的，这样可以很好地弥补 ANSYS Workbench 建模的不足。下面具体介绍这两种导入模型的方法。

方法一：在项目列表中右击 **Geometry**，在弹出的快捷菜单中选择 **New Geometry...** 命令（或双击 **Geometry**），进入 ANSYS Workbench 的专有建模平台。

方法二：在项目列表中右击 **Geometry**，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，弹出图 2.4.1 所示的“打开”对话框，选中要打开的文件，单击 **打开(O)** 按钮，完成几何体的导入。

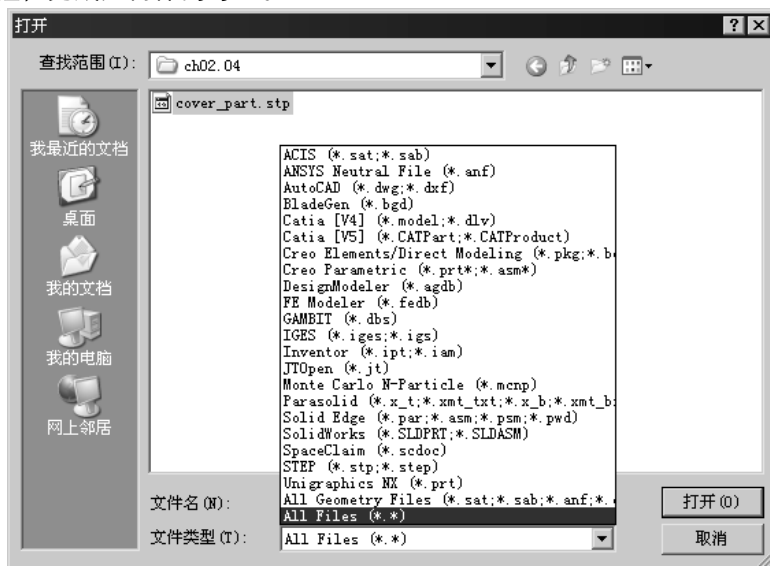
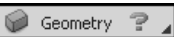



图 2.4.1 “打开”对话框

2.4.2 几何体属性

在项目列表中右击 ，在弹出的快捷菜单中选择  命令，打开图 2.4.2 所示的“几何属性”窗口。

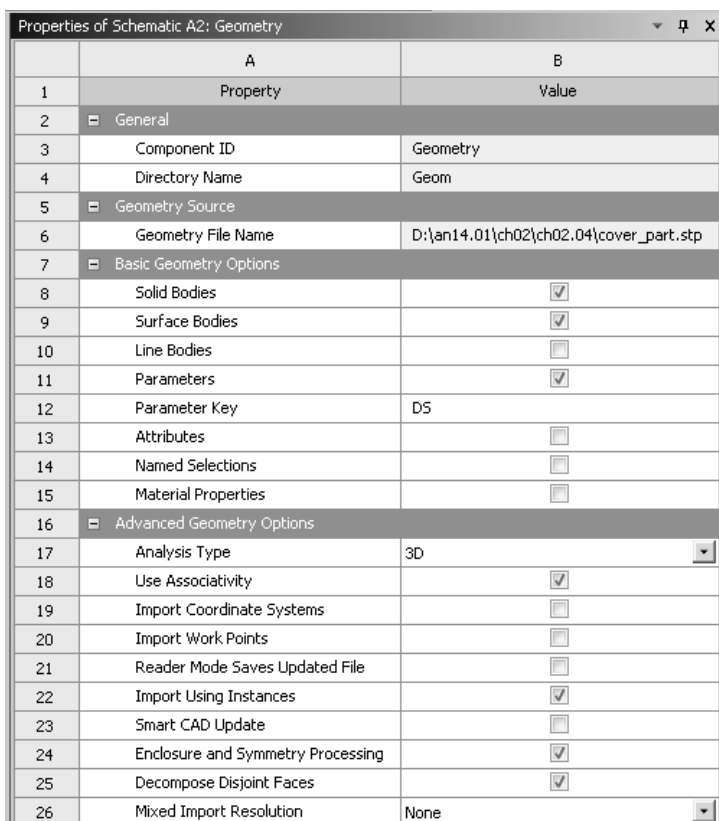


图 2.4.2 “几何属性”窗口

图 2.4.2 所示“几何属性”窗口中部分选项说明如下。


- ◆ **General** 区域：用于显示几何体一般属性，包括 **Component ID** 和 **Directory Name**。
- ◆ **Geometry Source** 区域：用于显示几何体文件所在文件夹地址。
- ◆ **Basic Geometry Options** 区域：用于设置几何体基础属性。
 - **Solid Bodies** 选项：选中该选项，导入的几何体可以是实体，此选项为默认选项。
 - **Surface Bodies** 选项：选中该选项，导入的几何体可以是面体，此选项为默认选项。
 - **Line Bodies** 选项：选中该选项，导入的几何体可以是线体。
 - **Parameters** 选项：选中该选项，导入的几何体包括参数。

- **Parameter Key** 选项：提供过滤功能，系统导入名称中包含 Key 的参数，Key 默认为“DS”，如导入所有参数，Key 置空。
- **Attributes** 选项：选中该选项，系统导入几何体属性。
- **Named Selections** 选项：选中该选项，系统导入命名选择集。
- **Material Properties** 选项：选中该选项，系统导入材料属性，导入的材料会出现在“Engineering Data”中。
- ◆ **Advanced Geometry Options** 选项：用于设置几何体高级属性。
 - **Analysis Type** 选项：分析类型设置，一般是 3D 的，一些特殊的分析（如平面问题分析）需要修改为 2D，一般情况下不需要更改。
 - **Use Associativity** 选项：设置几何体关联属性。
 - **Import Coordinate Systems** 选项：选中该选项，导入几何体中的局部坐标系。
 - **Import Work Points** 选项：选中该选项，导入几何体中的点。
 - **Reader Mode Saves Updated File** 选项：通过三个点创建平面。
 - **Smart CAD Update** 选项：选中该选项，只在 CAD 装配体中修改部分更新。
 - **Enclosure and Symmetry Processing** 选项：选中该选项，导入几何体中包含的包围与对称操作。
 - **Decompose Disjoint Faces** 选项：选中该选项，系统分解未连接的面。
 - **Mixed Import Resolution** 选项：设置混合导入模式，可以导入实体、面体、线体、实体和面体的混合体及面体和线体的混合体。

2.5 单位系统

2.5.1 设置单位系统

分析中必须考虑单位系统，使用不同的单位系统，最后的结果值也是不一样的。ANSYS Workbench 与 ANSYS APDL 产品不同，ANSYS APDL 操作平台的单位制设置不方便，交互窗口上没有特定的设置图标，一般需要用命令流的方式设置单位制。而 ANSYS Workbench 单位制设置方便，用户可以选择国际单位制、英制单位制、工程单位制和自定义单位等不同的单位制。图 2.5.1 所示的 **Units** 下拉菜单用于设置分析环境单位系统。

选择 **Units**  **Unit Systems...** 命令，弹出图 2.5.2 所示的“Unit Systems”对话框，可以查看各单位系统详细信息。

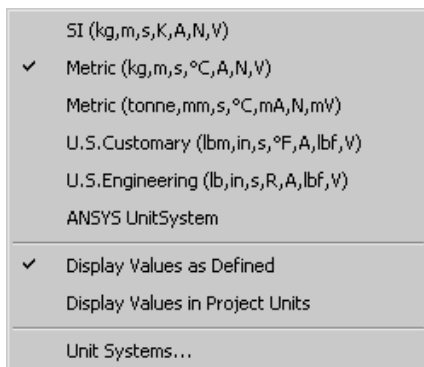


图 2.5.1 Units 下拉菜单

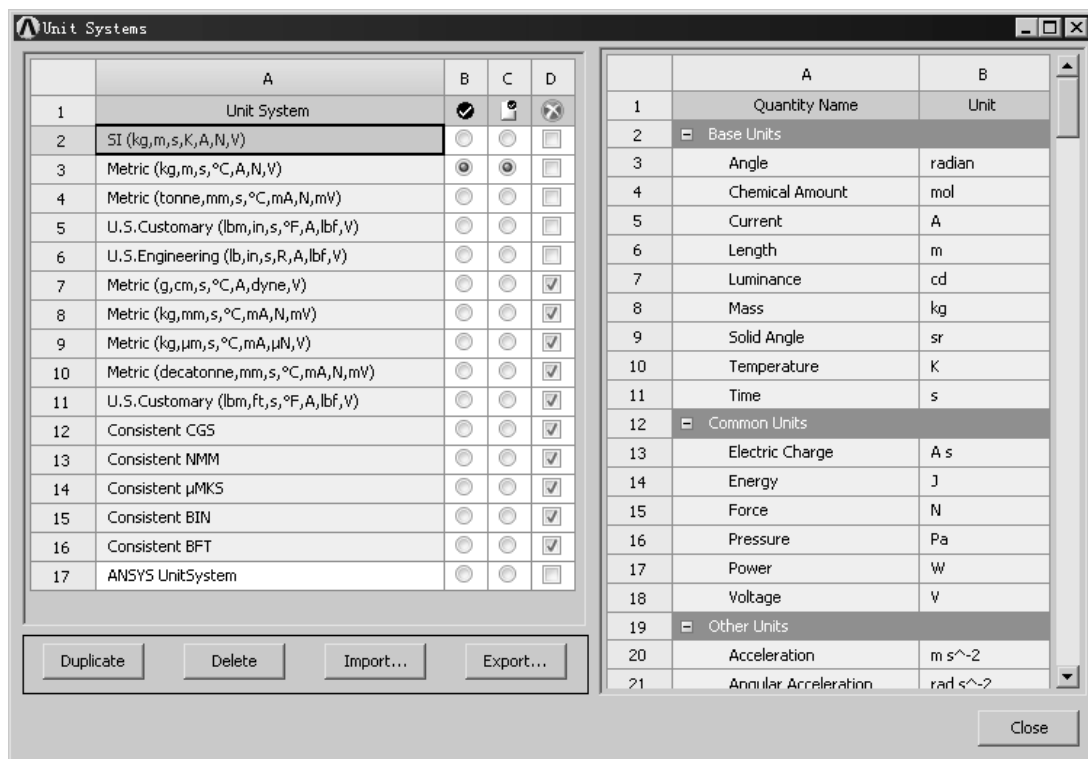


图 2.5.2 “Unit Systems” 对话框（一）

2.5.2 新建单位系统

在“Unit Systems”对话框中选中一个已存在的单位系统作为参考（如 Metric (kg,mm,s,°C,mA,N,mV)），单击对话框中的 Duplicate 按钮，系统新建一个单位系统，如图 2.5.3 所示。然后在对话框右侧列表区域设置各单位，单击 Export... 按钮，将新建的单位系统保存，以便以后使用。

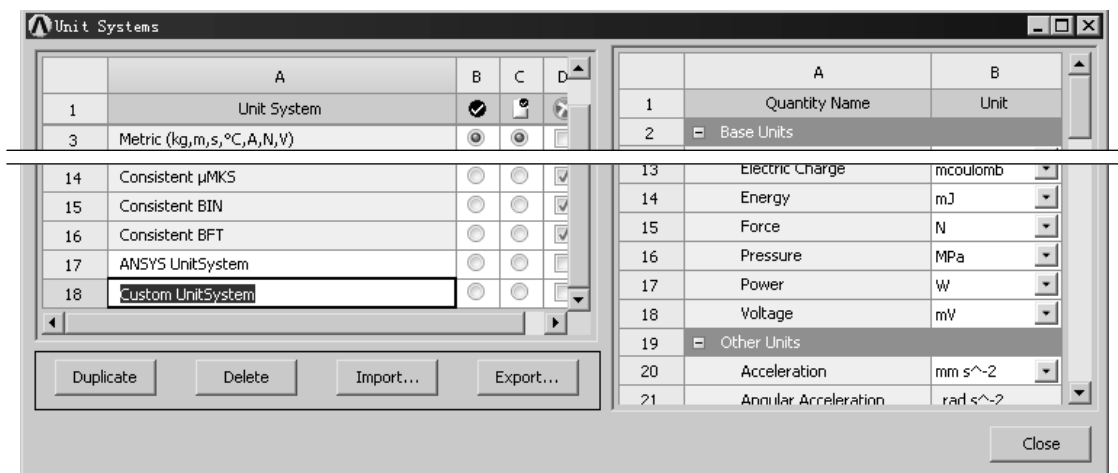


图 2.5.3 “Unit Systems”对话框（二）

2.6 选择工具介绍

2.6.1 一般选择工具

在建模环境中通过设置“选择过滤器”工具栏来帮助用户快速、准确地选择所需要的对象。该工具栏显示如图 2.6.1 所示。

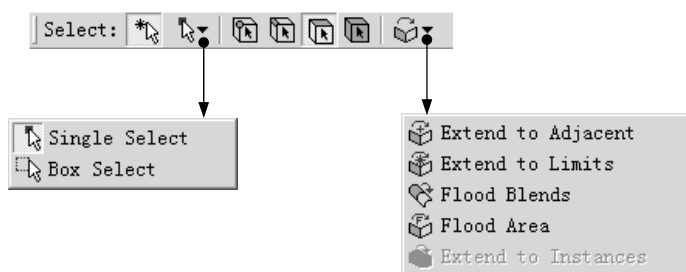



图 2.6.1 “选择过滤器”工具栏


图 2.6.1 所示“选择过滤器”工具栏中工具按钮说明如下。

- ◆ **Single Select** 命令：用于选择某一个单一几何对象，包括点、线和面。
- ◆ **Box Select** 命令：用于框选几何对象。
- ◆ **Extend to Adjacent** 命令：用于选择与选中基础对象相切连接的几何对象。
- ◆ **Extend to Limits** 命令：用于选择与选中基础对象及接触对象相切连接的几何对象。
- ◆ **Flood Blends** 命令：用于选择与选中圆角面相切连接的圆角面对象。
- ◆ **Flood Area** 命令：用于选择整个几何体的所有实体表面对象。

下面介绍通过使用“选择过滤器”工具栏来选取曲面的一般操作方法。

步骤 01 打开文件 D:\ansc14.0\work\ch02.06.01\selection.wbpj，进入建模环境。

步骤 02 选中图 2.6.2 所示的曲面作为基础面对象，在“选择过滤器”工具栏中选择  **Extend to Adjacent** 命令，则选中与基础面对象直接相切连接的所有曲面，结果如图 2.6.3 所示。

步骤 03 选中图 2.6.4 所示的圆角面作为基础面对象，在“选择过滤器”工具栏中选择  **Extend to Adjacent** 命令，则选中与基础圆角面对象直接相切连接的所有曲面，结果如图 2.6.5 所示。

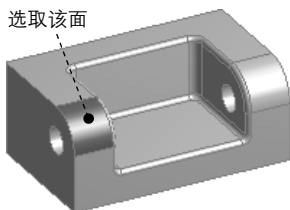


图 2.6.2 选取曲面（一）

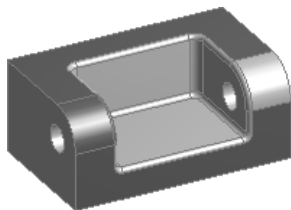


图 2.6.3 选取结果（一）

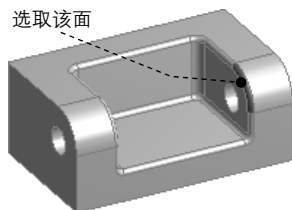




图 2.6.4 选取曲面（二）

步骤 04 选中图 2.6.4 所示的圆角面作为基础面对象，在“选择过滤器”工具栏中选择  **Extend to Limits** 命令，则选中与基础圆角面对象连续相切连接的所有曲面，结果如图 2.6.6 所示。

步骤 05 选中图 2.6.4 所示的圆角面作为基础面对象，在“选择过滤器”工具栏中选择  **Flood Blends** 命令，则选中与基础圆角面对象相切连接的所有圆角面，结果如图 2.6.7 所示。

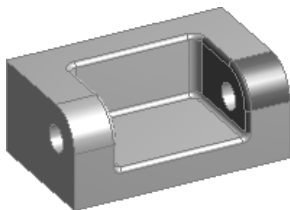


图 2.6.5 选取结果（二）

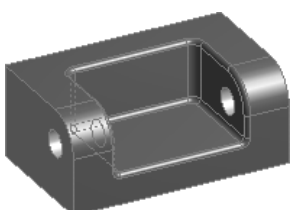


图 2.6.6 选取结果（三）

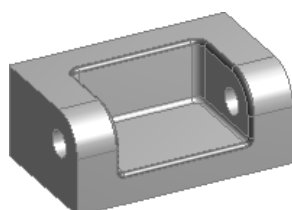



图 2.6.7 选取结果（四）

步骤 06 选中图 2.6.4 所示的圆角面作为基础面对象，在“选择过滤器”工具栏中选择  **Flood Area** 命令，则选中所有实体表面，结果如图 2.6.8 所示。


步骤 07 框选几何对象。在“选择过滤器”工具栏中选择  **Box Select** 命令，在图形区拖拽出图 2.6.9a 所示的矩形框，则选中图 2.6.9b 所示的曲面对象。



图 2.6.8 选取结果 (五)

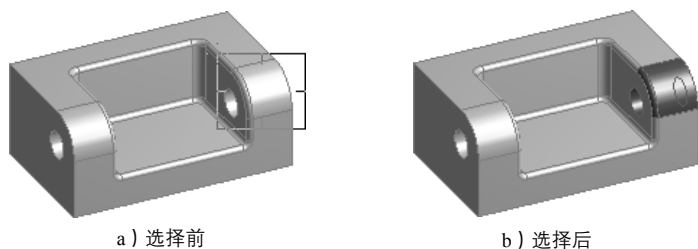


图 2.6.9 选取结果 (六)

2.6.2 命名选择工具

命名选择工具可以将任何几何对象或具有相同某种参数的几何对象创建成一个集合，从而方便对多个几何对象的选取，这个集合可以用在任何用来选择几何对象的地方。下面具体介绍定义命名选择集及将命名选择集用在对象选择上的一般操作过程。


1. 定义命名选择集

下面以图 2.6.10 所示的模型为例，介绍几种常用的命名选择方法，一般操作过程如下。

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch02.06.02\named-selections.wbpj”，在项目列表中双击

 Model  项目，进入分析环境。

步骤 02 创建命名选择集 selection。

(1) 选择命令。在“Outline”窗口中右击  **Model (A4)** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** →  **Named Selection** 命令，弹出“Details of ‘Selection’”对话框。

(2) 选取几何对象。按住 Ctrl 键，选取图 2.6.11 所示的 5 个曲面，单击“Details of ‘Selection’”对话框中 **Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

adv-selection
2014/5/31 17:20

A	Selection
B	hole-selection
C	chamfer-selection
D	adv-selection

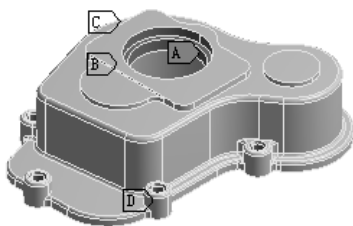


图 2.6.10 命名选择

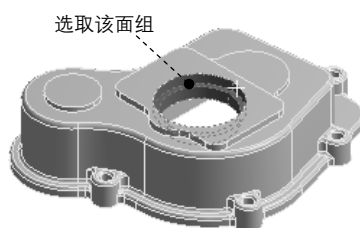


图 2.6.11 选取曲面 (一)





此处创建的命名选择集 selection 是将任意选中的三个面对象作为一个集合。

步骤 03 创建命名的选择 hole-selection。

(1) 选择命令。在图形区选中图 2.6.12 所示的曲面对象右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Create Named Selection** 命令，弹出图 2.6.13 所示的“Selection Name”对话框。

(2) 在“Selection Name”对话框输入名称 hole-selection，选中 **Apply geometry items of same:** 单选选项和 ☒ **Size** 复选框，单击 **OK** 按钮。

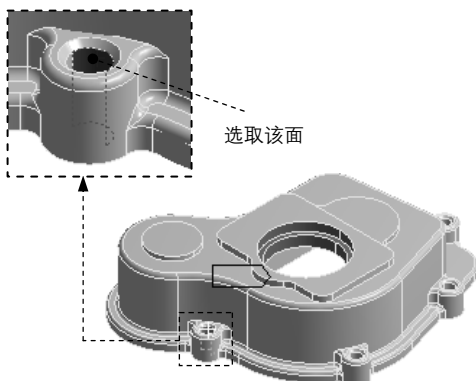


图 2.6.12 选取曲面 (二)



图 2.6.13 “Selection Name”对话框

(3) 在“Outline”窗口中单击 **hole-selection** 节点，切换到图 2.6.14 所示的 Worksheet 窗口，采用系统默认参数设置，单击 **Generate** 按钮。

(4) 打开 **Graphics** 选项卡，切换几何显示界面，结果如图 2.6.14 所示。



此处创建的命名选择集 hole-selection 是将几何体上所有尺寸与选中曲面尺寸相等的曲面 (一共 12 个) 作为一个集合。

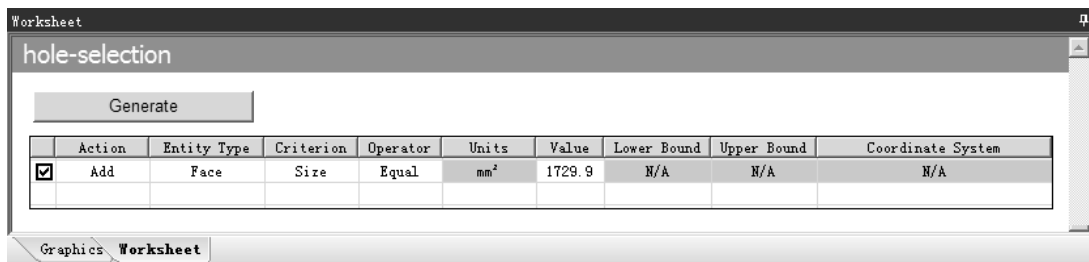


图 2.6.14 “Worksheet”窗口

图 2.6.14 所示的“Worksheet”窗口中内容说明如下。

- ◆ **Action** 列：用于设置工作表的行为模式，不同的行为模式可以定义不同的选择方式，进行不同的选择，主要包括以下几种。
 - **Add** 选项：选中该选项，可以向选择集合中添加集合。
 - **Remove** 选项：选中该选项，可以从选择集合中移除集合。
 - **Filter** 选项：选中该选项，定义一个过滤器对选择集合进行过滤，从而得到更为精确的选择对象。
 - **Invert** 选项：选中该选项，定义一个反选，选择与工作表中选择对象相反的其他几何对象。
 - **Convert To** 选项：选中该选项，定义一个变换，对选中的集合进行变换。
- ◆ **Entity Type** 列：用于定义选择集合的实体类型，包括以下几种。
 - **Body** 选项：选中该选项，选择体对象。
 - **Face** 选项：选中该选项，选择面体对象。
 - **Edge** 选项：选中该选项，选择边对象。
 - **Vertex** 选项：选中该选项，选择点对象。
 - **Mesh Node** 选项：选中该选项，选择网格节点对象。
- ◆ **Criterion** 列：用于定义一个选择准则，主要包括以下几种。
 - **Size** 选项：选中该选项，依据尺寸进行选择。
 - **Type** 选项：选中该选项，依据类型进行选择。
 - **Location X** 选项：选中该选项，依据 X 轴向坐标进行选择。
 - **Location Y** 选项：选中该选项，依据 Y 轴向坐标进行选择。
 - **Location Z** 选项：选中该选项，依据 Z 轴向坐标进行选择。
 - **Node ID** 选项：选中该选项，依据网格节点编号进行选择。
 - **Radius** 选项：选中该选项，依据半径值进行选择。
- ◆ **Operator** 列：用于定义选择的判断方式，主要有以下几种。
 - **Equal** 选项：选中该选项，用于判断与选中对象相等的几何参数对象。
 - **Not Equal** 选项：选中该选项，用于判断与选中对象不相等的几何参数对象。
 - **Less Than** 选项：选中该选项，用于判断小于选中对象的几何参数对象。
 - **Less Than or Equal** 选项：选中该选项，用于判断小于或等于选中对象的几何参数对象。

- **Greater Than** 选项：选中该选项，用于判断大于选中对象的几何参数对象。
- **Greater Than or Equal** 选项：选中该选项，用于判断大于或等于选中对象的几何参数对象。
- **Range** 选项：选中该选项，用于判断一个区间的几何参数对象。
- **Smallest** 选项：选中该选项，用于判断最小几何参数对象。
- **Largest** 选项：选中该选项，用于判断最大几何参数对象。
- ◆ **Units** 列：用于设置参数单位。
- ◆ **Value** 列：用于定义具体的参数值。
- ◆ **Lower Bound** 列：用于定义下限参数。
- ◆ **Upper Bound** 列：用于定义上限参数。
- ◆ **Coordinate System** 列：用于定义坐标系统。



在定义命名选择集的过程中，一般需要了解选中几何对象的相关几何参数，单击工具栏的 按钮，弹出图 2.6.15 所示的“Selection Information”窗口，在窗口中将显示选中几何对象的各项相关几何参数。

Selection Information							
Coordinate System	Global Coordinate System	<input checked="" type="checkbox"/>	Show Individual and Summary				
Entity	Surface Area (mm ²)	Centroid X (mm)	Centroid Y (mm)	Centroid Z (mm)	Body	Type	Radius (mm)
1 Cylinder, Summary	62.76	2.9753e-004	126.82	2.			
Face 1	62.76	2.9753e-004	126.82	2.	COVER PART	Cylinder	5.

图 2.6.15 “Selection Information” 窗口

步骤 04 创建命名选择集 chamfer-selection (图 2.6.16)。

(1) 在图形区选中图 2.6.17 所示的曲面对象并右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Create Named Selection** 命令，弹出“Selection Name”对话框。

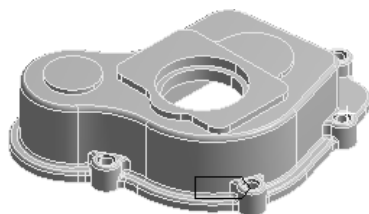


图 2.6.16 命名选择集 chamfer-selection (一)

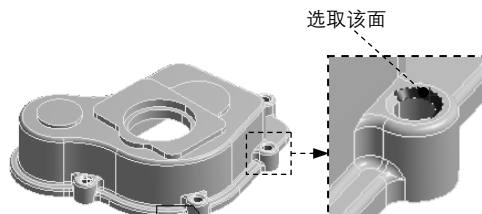


图 2.6.17 选取曲面 (三)

(2) 在“Selection Name”对话框输入名称 chamfer-selection，选中 **Apply geometry items of same:**

单选项和 ☒ Size 复选框, 单击 按钮。

(3) 在“Outline”窗口中单击 ☒ chamfer-selection 节点, 系统切换到“Worksheet”窗口, 采用系统默认参数设置, 单击 按钮。

(4) 打开 Graphics 选项卡, 切换到几何显示界面, 结果如图 2.6.18 所示。



此处创建的命名选择集 chamfer-selection 是将几何体上所有尺寸与选中曲面尺寸相等的曲面 (一共 12 个) 作为一个集合。

步骤 05 创建命名选择集 adv-selection。

(1) 在图形区选中图 2.6.19 所示的曲面对象右击, 在弹出的快捷菜单中选择 命令, 弹出“Selection Name”对话框。

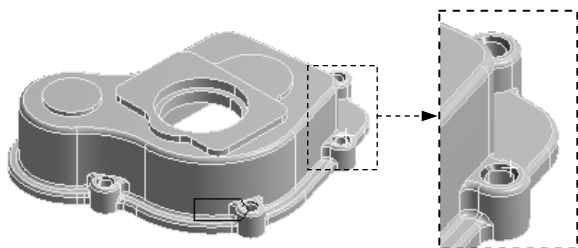


图 2.6.18 命名选择集 chamfer-selection (二)

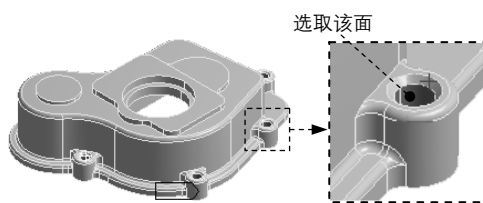


图 2.6.19 选取曲面 (四)

(2) 在“Selection Name”对话框输入名称 adv-selection, 选中 ☒ Apply geometry items of same: 单选项和 ☒ Size 复选框, 单击 按钮。

(3) 添加过滤器 1 (注: 本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch02\reference\文件夹下的语音视频讲解文件“named_selections-r01.exe”)。



在“Worksheet”窗口中添加一个过滤器, 可以对选中的几何对象进行过滤, 得到需要的几何体对象, 此处添加的过滤器表示用来过滤在 X 轴方向上坐标在 -10~100 之间满足要求的几何对象。

(4) 添加过滤器 2 (注: 本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch02\reference\文件夹下的语音视频讲解文件“named_selections-r02.exe”)。



此处添加的过滤器表示用来过滤在 Y 轴方向上坐标在 0~150 之间满足要求的几何对象。

(5) 单击 **Generate** 按钮，完成定义。

(6) 打开 **Graphics** 选项卡，切换到几何显示界面，结果如图 2.6.20 所示。

2. 命名选择集的应用

下面继续以上一节的模型为例来介绍命名选择集在分析中的应用。

步骤 01 添加固定约束（一）。在“Outline”窗口中单击 **Static Structural (A5)** 节点，在“Environment”工具栏中选择 **Supports** \rightarrow **Fixed Support** 命令，弹出图 2.6.21 所示的“Details of ‘Fixed Support’”对话框。在对话框中的 **Scoping Method** 下拉列表中选择 **Named Selection** 选项，然后在 **Named Selection** 下拉列表中选择 **Selection** 选项，即将 **Selection** 命名选择集定义为固定约束的几何对象。结果如图 2.6.22 所示。

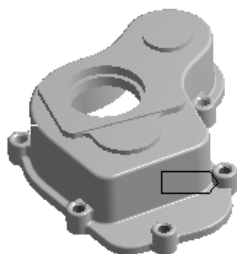


图 2.6.20 命名选择集 adv-selection

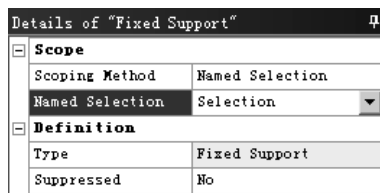


图 2.6.21 “Details of ‘Fixed Support’”对话框

步骤 02 添加固定约束（二）（图 2.6.23）（注：本步的详细操作过程请参见随书光盘中的 video\ch02\reference\文件夹下的语音视频讲解文件“named_selections-r03.exe”）。

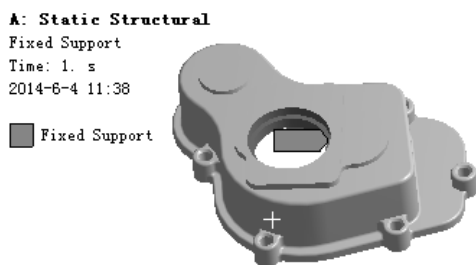


图 2.6.22 添加固定约束（一）

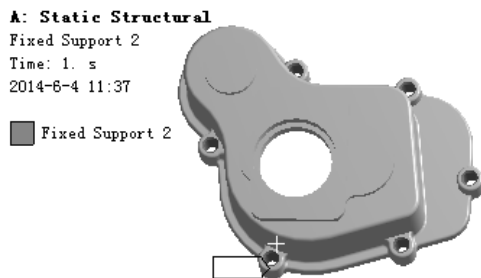



图 2.6.23 添加固定约束（二）

2.7 坐标系

坐标系（Coordinate Systems）常应用于网格控制、质量点、指定方向的载荷和结果等。当模型是基于 CAD 的原始模型时，“Mechanical”环境下会自动添加整体坐标系（Global Coordinate Systems），同时也可以从 CAD 系统中导入局部坐标系（Local Coordinate Systems）。新的坐标系

是通过在“Mechanical”环境下单击图 2.7.1 所示工具条中的  (Create Coordinate Systems) 按钮进行创建的,并定义坐标系相关参数。

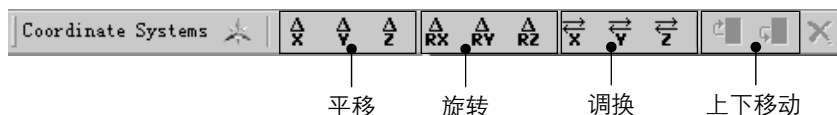


图 2.7.1 坐标系命令条

下面以创建图 2.7.2 所示的坐标系为例,说明创建坐标系的一般操作过程。

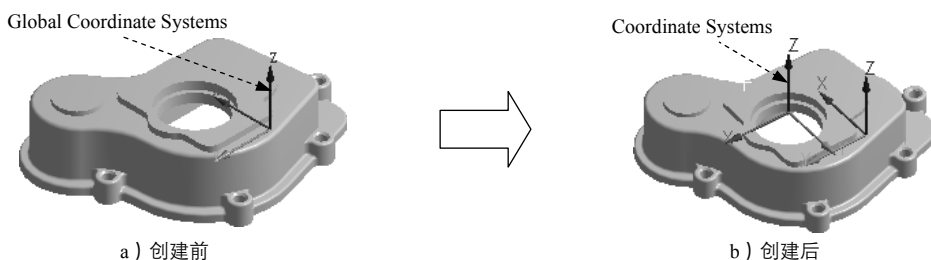




图 2.7.2 创建坐标系

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File**  **Open...** 命令,打开文件 D:\ansc14.0\work\ch02.07\coordinate.wbpj,在项目列表中双击  **Model** 选项,进入“Mechanical”环境。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中右击  **Coordinate Systems** 节点,在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Coordinate System** 命令,弹出图 2.7.3 所示的“Details of ‘Coordinate Systems’”对话框。

步骤 03 定义原点。在 **Origin** 区域中单击以激活 **Geometry** 后的文本框,选取图 2.7.4 所示的圆孔圆弧边线为参考,单击 **Apply** 按钮确认,其他参数采用系统默认设置。

步骤 04 定义主轴。

(1) 定义轴名称。在 **Principal Axis** 区域的 **Axis** 下拉列表中选择 **X** 选项。

(2) 定义方式。在 **Define By** 下拉列表中选择 **Geometry Selection** 选项。

(3) 选取原点参考。单击以激活 **Geometry** 后的文本框,选取图 2.7.4 所示的模型边线为对象,调整箭头方向,如图 2.7.5 所示,并单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义 Z 轴方位。

(1) 定义轴。在 **Orientation About Principal Axis** 区域的 **Axis** 下拉列表中选择 **Z** 选项。

(2) 定义方式。在 **Define By** 下拉列表中选择 **Global Z Axis** 选项。

步骤 06 完成坐标系的创建,结果如图 2.7.2b 所示。

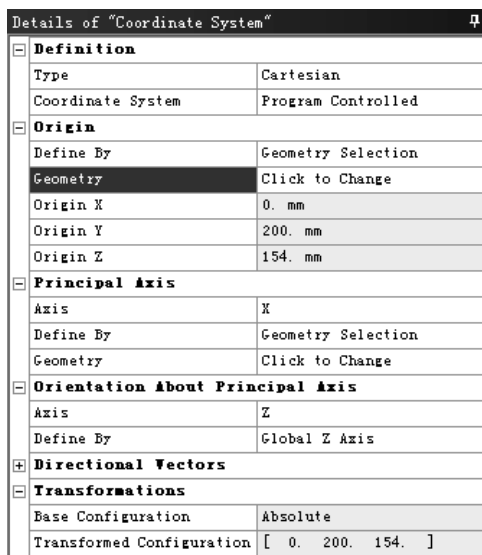


图 2.7.3 “Detail of ‘Coordinate Systems’” 对话框

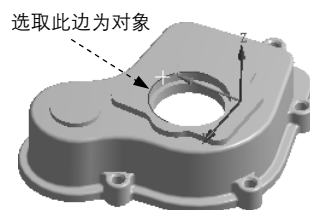


图 2.7.4 定义原点几何参考

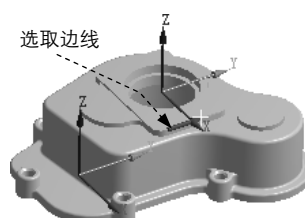


图 2.7.5 定义主轴



第 3 章 Design Modeler 几何建模

3.1 Design Modeler 几何建模基础


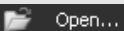
3.1.1 Design Modeler 建模平台介绍

在 ANSYS Workbench 中, 几何建模既可以在 Design Modeler 中进行, 也可以在 Space Claim Direct Modeler 中直接建模, 本章主要介绍的是在 Design Modeler 平台上完成几何建模。

Design Modeler 简称 DM, 是 ANSYS Workbench 14.0 的建模平台。DM 可以全参数化进行实体建模, 具有具体模型创建、CAD 模型修复、CAD 模型简化及概念化模型的创建功能。实际上 DM 是一个类似于 CAD 的工具, 但与普通的 CAD 软件又不同。它主要是为 FEM 服务的, 所以它有一些功能也是一般的 CAD 软件所不具备或不擅长的, 如梁建模 (Beam Modeling)、封闭操作 (Enclosure Operation)、填充操作 (Fill Operation) 及点焊设置 (Spot Welds) 等。

在结构分析项目列表中双击  Geometry, 弹出图 3.1.1 所示的“ANSYS Workbench”对话框, 在该对话框中设置单位系统, 单击  按钮, 进入 Design Modeler 建模环境, 其界面如图 3.1.2 所示。



还有一种进入 Design Modeler 环境的方法即选择   命令, 直接打开一个已存文件, 读者在练习时可以打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.01\sheet-part.wbpj” 进行练习。

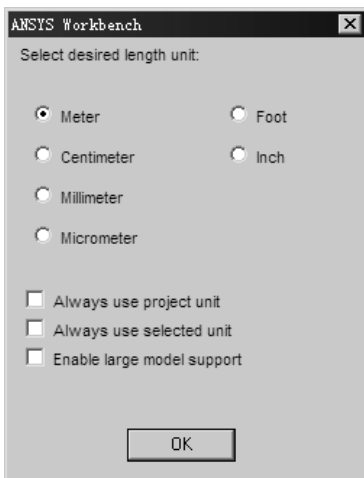


图 3.1.1 “ANSYS Workbench” 对话框

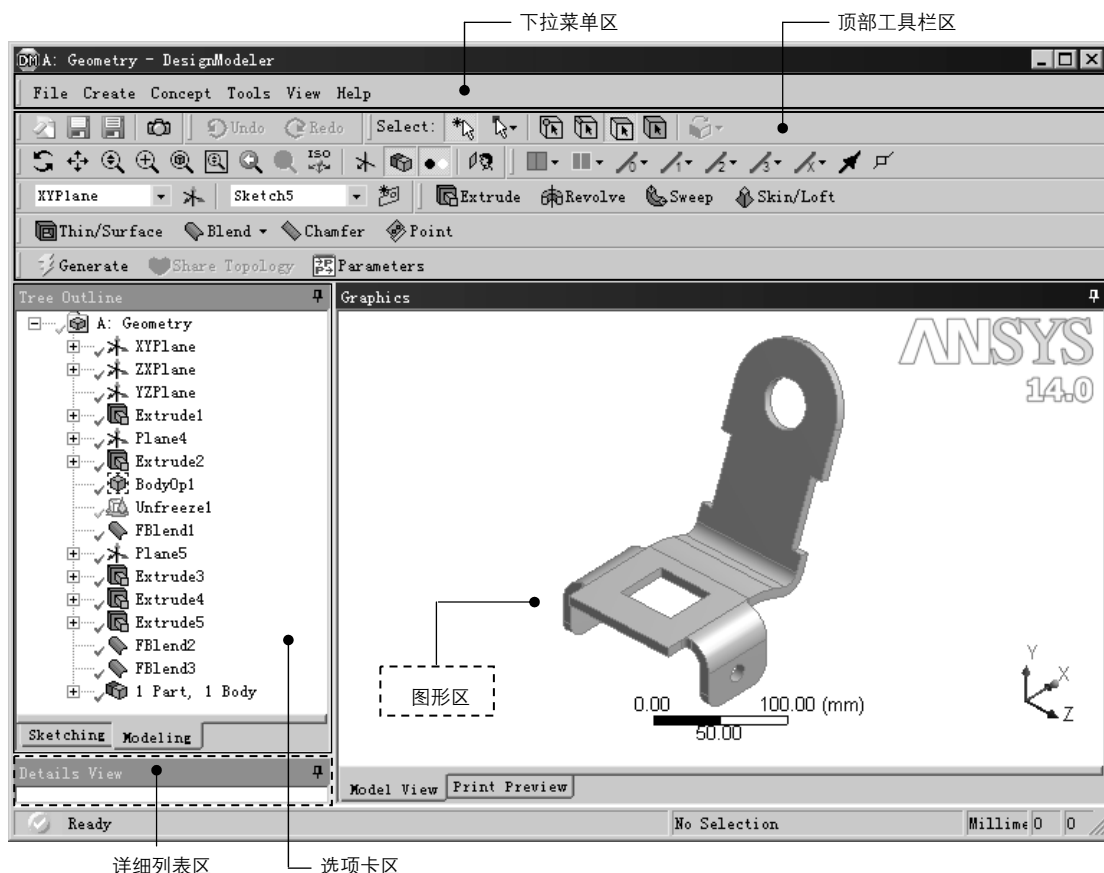


图 3.1.2 DesignModeler 界面

DesignModeler 的用户界面实际上与目前流行的三维 CAD 软件非常类似，其界面中主要包括以下几个区域。

1. 下拉菜单区

主菜单栏包括文件（File）、创建（Creat）、概念（Concept）、工具（Tools）、视图（View）、和帮助（Help）六个下拉子菜单，可以对软件进行各种应用设置和定制，其中一些常用的命令直接从下拉子菜单中提取到下拉菜单下方的菜单栏中，方便调用。

- ◆ 文件（File）：主要是用来进行基本文件操作，包括常规的文件输入、输出、保存及脚本的运行等功能的工具命令。
- ◆ 创建（Create）：主要用来创建 3D 模型对象和各种修改操作（如拉伸、旋转、圆角、体操作和布尔运算等）。
- ◆ 概念（Concept）：主要是用来完成概念建模，如创建梁模型或面（壳体）概念模型。

- ◆ 工具 (Tools): 主要是用来进行整体建模操作、参数管理及定制程序等。
- ◆ 视图 (View): 主要是用来设置显示项。
- ◆ 帮助 (Help): 主要是帮助用户自学 DesignModeler 软件, 在使用 DM 的过程中碰到一些问题或一些不清楚的地方, 可以随时使用帮助文档。

2. 顶部工具栏区

为了方便用户使用, DM 将一些常用的工具按钮以工具条的形式集中放置在下拉菜单区的下方, 形成“顶部工具栏区”, 其中主要包括以下工具条。

图 3.1.3 所示的是“选择过滤器”工具条, 用来设置选择过滤方式, 可以帮助用户快速选择某些几何体对象。



图 3.1.3 “选择过滤器”工具条

图 3.1.4 所示的是“图形控制”工具条, 用来设置对图形的旋转、平移、缩放等基本控制, 还可以设置图形的显示控制。



图 3.1.4 “图形控制”工具条

图 3.1.5 所示的是“边显示样式”工具条, 用来设置模型边显示样式。



图 3.1.5 “边显示样式”工具条

图 3.1.6 所示的是“草图绘制”工具条, 用来设置二维草图绘制的基准平面 (草图平面) 及新建二维草图。



图 3.1.6 “草图绘制”工具条

图 3.1.7 所示的是“三维实体创建”工具条, 用来创建三维实体特征, 该工具条可以根据用户需要进行定制。



图 3.1.7 “三维实体创建”工具条

3. 选项卡区域

选项卡区包括 **Sketching** 和 **Modeling** 两个选项卡。

- ◆ 打开 **Sketching** 选项卡，弹出图 3.1.8 所示的“Sketching Toolboxes”对话框，使用该对话框可以进行二维草图的绘制、修改、尺寸标注、约束的添加及草绘环境的设置等，关于二维草绘内容将在 4.2 节中具体介绍。
- ◆ 打开 **Modeling** 选项卡，弹出图 3.1.9 所示的“Tree Outline”对话框，在该对话框中显示三维实体几何模型的创建步骤及所使用的创建工具等信息。

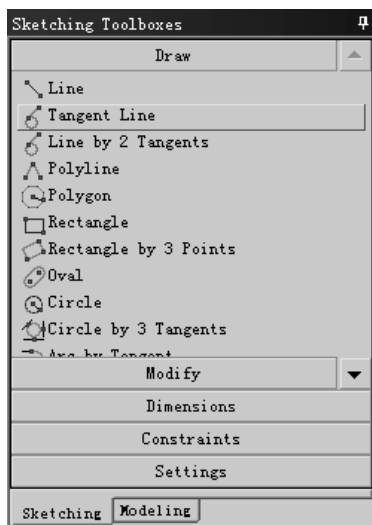


图 3.1.8 “Sketching Toolboxes”对话框

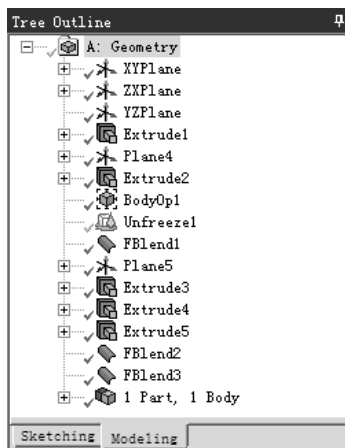


图 3.1.9 “Tree Outline”对话框

4. 详细列表区

在 DM 中进行二维草图绘制或三维实体建模的过程中，对于每一步操作，系统都会在详细列表区中弹出相应的详细列表，在该详细列表中可以对当前操作中的所有参数进行设置，图 3.1.10 所示的详细列表，是在创建拉伸特征时弹出的详细列表。

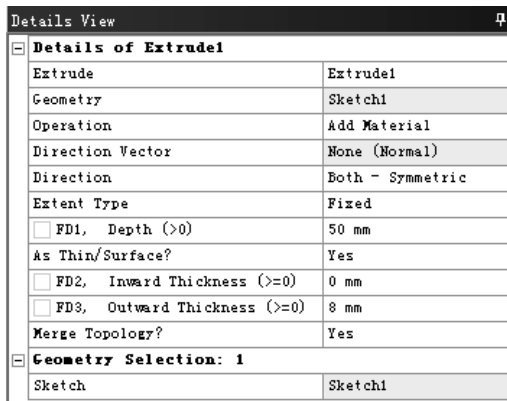


图 3.1.10 详细列表

5. 图形区

创建几何模型并对其进行各种操作的主要工作区。

3.1.2 Design Modeler 鼠标及键盘操作

在 DM 中绝大部分操作都是借助鼠标完成的, 熟练使用鼠标, 可以极大地方便我们在 DM 中进行各种操作。下面以常见的三键鼠标为例介绍鼠标的基本操作。

(1) 鼠标左键基本操作。

- ◆ 在下拉菜单或工具栏区选择命令, 在模型上选取几何体对象。
- ◆ 按住鼠标左键并拖拽鼠标可以执行连续选择。
- ◆ 按住 Ctrl 键, 同时按住鼠标左键可以执行添加或移除选定对象。

(2) 鼠标中键基本操作 (主要对模型进行旋转、移动与缩放)。

- ◆ 按住鼠标中键可以实现对几何体进行旋转。
- ◆ 按住 Ctrl 键, 同时按住鼠标中键并拖拽鼠标, 可平行移动模型。
- ◆ 按住 Shift 键, 同时按住鼠标中键并上下拖拽鼠标, 可缩放模型。



(3) 鼠标右键基本操作。

- ◆ 在不同的几何操作阶段, 通过单击鼠标右键, 可以在弹出快捷菜单中实现快捷选取命令的操作。
- ◆ 按住鼠标右键进行框选, 可以实现对几何体的快速缩放操作, 该功能在对几何体细部进行处理时经常用到。

3.2 二维草图绘制

在 DM 中, 进行二维草图的绘制主要是在草图模式下完成的, 二维草图主要是为创建三维实体或概念建模做准备的, 下面具体介绍在 DM 中进行二维草图绘制的相关操作。

3.2.1 定义草图平面

进入 DM 建模环境, 系统默认提供了三个基准平面 (XYPlane、ZXPlane、YZPlane) 供使用 (图 3.2.1), 在“草图绘制”工具条中的  下拉列表中选择 一个平面作为草图平面, 单击“草图绘制”工具条中的  按钮, 弹出图 3.2.2 所示的“New Plane”详细列表, 用户可以根据需要创建一个平面作为草图平面。

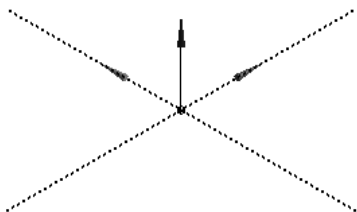


图 3.2.1 草图平面

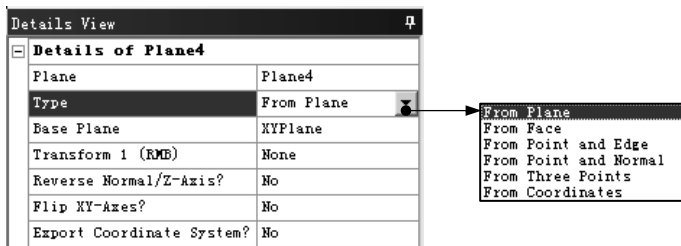


图 3.2.2 “New Plane” 详细列表

图 3.2.2 所示 “New Plane” 详细列表中部分选项说明如下。

- ◆ **Type** 下拉列表：用于设置创建平面的类型，包括以下几种类型。
 - **From Plane** 选项：通过已有的平面创建新平面。
 - **From Face** 选项：通过模型表面创建新平面。
 - **From Point and Edge** 选项：通过一个点和一条边创建平面。
 - **From Point and Normal** 选项：通过一个点和一个法线方向创建平面。
 - **From Three Points** 选项：通过三个点创建平面。
 - **From Coordinates** 选项：通过坐标变换创建平面。
- ◆ **Base Plane** 区域：用于设置参考平面。
- ◆ **Transform 1 (RMB)** 下拉列表：用于设置对参考平面的变换方式，从而得到最终新平面。它包括以下几种类型。
 - **None** 选项：无变换。
 - **Reverse Normal/Z-Axis** 选项：相对于平面坐标反转 Z 轴（法向）方向。
 - **Flip XY-Axes** 选项：相对于平面坐标反转 XY 轴方向。
 - **Offset X** 选项：相对于平面坐标向 X 轴平移的变换。
 - **Offset Y** 选项：相对于平面坐标向 Y 轴平移的变换。
 - **Offset Z** 选项：相对于平面坐标向 Z 轴平移的变换。
 - **Rotate about X** 选项：相对于平面坐标向 X 轴旋转的变换。
 - **Rotate about Y** 选项：相对于平面坐标向 Y 轴旋转的变换。
 - **Rotate about Z** 选项：相对于平面坐标向 Z 轴旋转的变换。
 - **Rotate about Edge** 选项：选取几何边线为轴的旋转变换。
 - **Align X-Axis with Base** 选项：将 X 轴与参考面对齐。
 - **Align X-Axis with Global** 选项：使其平面的坐标 X 轴与系统坐标系保持一致。
 - **Align X-Axis with Edge** 选项：使其平面的坐标 X 轴与选取的边线（该边线与创



建的平面必须平行)的方向保持一致。

- **Offset Global X** 选项: 关于系统坐标系向 X 轴平移的变换。
- **Offset Global Y** 选项: 关于系统坐标系向 Y 轴平移的变换。
- **Offset Global Z** 选项: 关于系统坐标系向 Z 轴平移的变换。
- **Rotate about Global X** 选项: 关于系统坐标系向 X 轴旋转的变换。
- **Rotate about Global Y** 选项: 关于系统坐标系向 Y 轴旋转的变换。
- **Rotate about Global Z** 选项: 关于系统坐标系向 Z 轴旋转的变换。
- **Move Transform Up** 选项: 向上进行移动变换。
- **Move Transform Down** 选项: 向下进行移动变换。
- **Remove Transform** 选项: 移除变换。
- ◆ **Reverse Normal/Z-Axis?** 区域: 用于设置是否反转 Z 轴法向。
- ◆ **Flip XY-Axes?** 区域: 用于设置是否反转 XY 轴方向。
- ◆ **Export Coordinate System?** 区域: 用于设置是否导出坐标系。选择 **No** 选项, 创建的坐标系将不随几何体一起导出到其他环境; 选择 **Yes** 选项, 创建的坐标系将随几何体一起导出到其他环境。

通过上面的一些叙述, 为加深用户对草图平面的理解, 这里将针对性地介绍一些创建平面的方法。


1. 从平面创建平面

下面以图 3.2.3 所示的模型为例, 介绍从平面创建平面的一般操作过程。

步骤 01 打开文件并进入 DM 建模环境。选择 **File**  **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansys14.0\work\ch03.02.01\from-plane.wbpj”, 在项目列表中双击 **DM Geometry** , 进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。在工具条中单击  按钮, 弹出 “New Plane” 详细列表。

步骤 03 定义类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **From Plane** 选项。

步骤 04 定义参考平面。单击以激活 **Base Plane** 文本框, 选取  **Plane4** 为参考, 并单击 **Apply** 按钮。

步骤 05 定义变换。

(1) 定义变换方式。在 **Transform 1 (RMB)** 下拉列表中选择 **Rotate about Edge** 选项。然后在图形区选择图 3.2.4 所示的边线为参照, 并单击 **Apply** 按钮。

(2) 定义旋转角度。在 **FD1, Value 1** 文本框中均输入数值 30。

步骤 06 其他选项采用系统默认设置，单击 **Generate** 按钮，完成平面的创建。

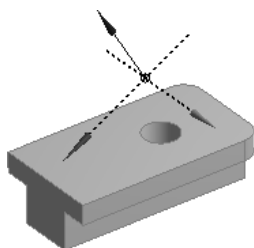


图 3.2.3 从平面创建平面

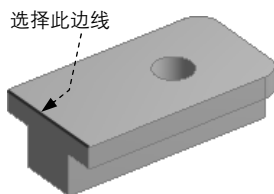


图 3.2.4 选择参照边线

2. 从点和法向方向创建平面

下面以图 3.2.5 所示的模型为例，介绍从点和法向方向创建平面的一般操作过程。

步骤 01 打开文件并进入 DM 建模环境。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.02.01\from-point-normal.wbpj”，在项目列表中双击 **DM Geometry** ✓，进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。在工具条中单击  按钮，弹出 “New Plane” 详细列表。

步骤 03 定义类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **From Point and Normal** 选项。

步骤 04 定义参考点。单击以激活 **Base Point** 文本框，选取图 3.2.6 所示的模型点为参考点，并单击 **Apply** 按钮。

步骤 05 定义法向方向。单击以激活 **Normal Defined by** 文本框，选取图 3.2.7 所示的模型边线为法向参考，并调整箭头方向，如图 3.2.7 所示，单击 **Apply** 按钮。

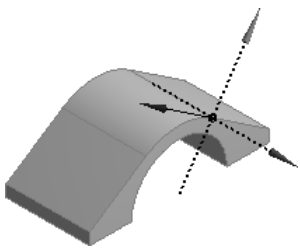


图 3.2.5 从点和法向方向创建平面

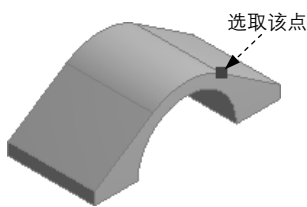


图 3.2.6 定义参考点

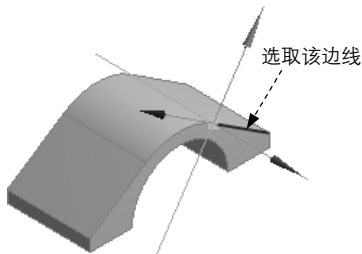


图 3.2.7 定义法向方向

步骤 06 其他选项采用系统默认设置，单击 **Generate** 按钮，完成平面的创建。

3. 从三点创建平面

下面以图 3.2.8 所示的模型为例，介绍从三点创建平面的一般操作过程。

步骤 01 打开文件并进入 DM 建模环境。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.02.01\from-three-point.wbpj”，在项目列表中双击 **DM Geometry** ✓，进入 DM

建模环境。

步骤 02 选择命令。在工具条中单击  按钮，弹出“New Plane”详细列表。

步骤 03 定义类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **From Three Points** 选项。

步骤 04 定义参考点。单击以激活 **Selected Points** 文本框，按住 Ctrl 键依次选取图 3.2.9 所示的点 1、点 2 和点 3 为参考点，并单击 **Apply** 按钮。



此处选择参考点时，选择的第一点为坐标原点，选择的第二点为 X 轴点，选择的第三点为 Y 轴点。

步骤 05 定义法向方向。在 **Reverse Normal/Z-Axis?** 下拉列表中选择 **Yes** 选项，其他选项采用系统默认设置。

步骤 06 单击 **Generate** 按钮，完成平面的创建。

4. 从坐标系创建平面

下面以图 3.2.10 所示的模型为例，介绍从坐标系创建平面的一般操作过程。

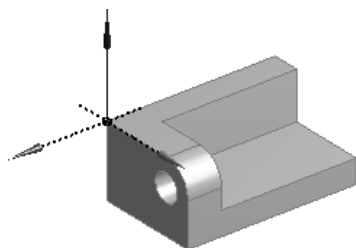


图 3.2.8 从三点创建平面

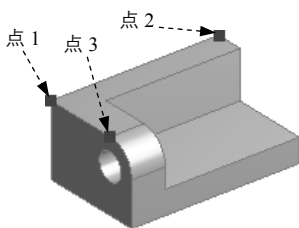


图 3.2.9 定义参考点

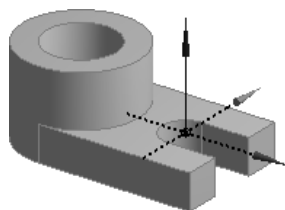



图 3.2.10 从坐标系创建平面

步骤 01 打开文件并进入 DM 建模环境。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.02.01\from-coordinates.wbpj”，在项目列表中双击 **DM Geometry**，系统进入到 DM 建模环境。



步骤 02 选择命令。在工具条中单击  按钮，弹出“New Plane”详细列表。

步骤 03 定义类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **From Coordinates** 选项。


步骤 04 定义参数。在 **FD11, Point X** 文本框中输入数值 90mm，在 **FD12, Point Y** 文本框中输入数值 0mm，在 **FD13, Point Z** 文本框中输入数值 30mm，在 **FD14, Normal X** 文本框中输入数值 0，在 **FD15, Normal Y** 文本框中输入数值 0，在 **FD16, Normal Z** 文本框中输入数值 1，其他选项采用系统默认设置。



步骤 05 单击  Generate 按钮，完成平面的创建。

3.2.2 进入与退出草图绘制模式

在 DM 中，在“草图绘制”工具条中的  XYPlane 下拉列表中选择一草图平面后，单击工具条中的  按钮，系统即在选定的草图平面下新建一草图，打开 **Sketching** 选项卡进入草图绘制模式。草图绘制完成后，单击 **Modeling** 选项卡，退出草图绘制模式。



默认的草图平面为 XYPlane，如果没有单击“New Sketch”按钮  新建草图，系统将自动在默认平面下新建草图。

在绘制草图过程中，单击“图形控制”工具条中的  按钮，可以切换草图以及草图平面的显示与隐藏；单击  按钮，可以调整草图平面正视于计算机屏幕，方便看图（图 3.2.11）。

3.2.3 草绘的设置

在选项卡区域单击 **Sketching** 选项卡，在“Sketching Toolboxes”窗口中单击 **Settings** 按钮，打开图 3.2.12 所示的“Settings”栏，主要用来设置草绘栅格参数及捕捉。

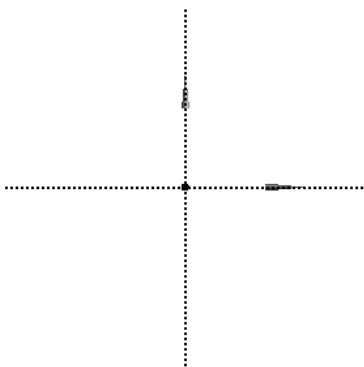


图 3.2.11 调整草图平面

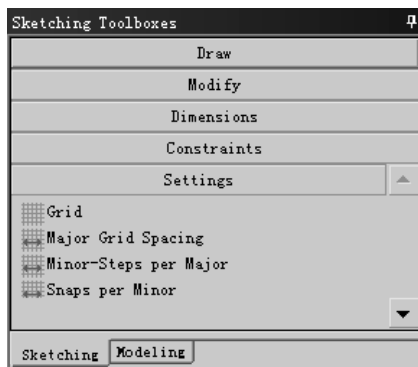








图 3.2.12 “Settings”栏

图 3.2.12 所示的“Settings”栏各按钮说明如下。

- ◆  **Grid** 按钮：用于设置草绘栅格与捕捉，单击该按钮，在其后出现以下两个选项。
 -  **Show in 2D** ☒ 选项：选中该选项，显示草绘栅格（图 3.2.13）。
 -  **Snap** ☒ 选项：选中该选项，激活捕捉，在绘制草图时，将捕捉栅格交点。
- ◆  **Major Grid Spacing** 按钮：单击该按钮，在其后的文本框中设置主栅格间距参数。
- ◆  **Minor-Steps per Major** 按钮：单击该按钮，在其后的文本框中设置每个主栅格中辅栅

格间距参数。

- ◆  **Snaps per Minor** 按钮：单击该按钮，在其后的文本框中设置捕捉精度。

3.2.4 草图的绘制

在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡，在“Sketching Toolboxes”窗口中单击 **Draw** 按钮，打开图 3.2.14 所示的“Draw”栏，使用该栏中的命令可以绘制各种草图图元。下面具体介绍各种草图图元的绘制方法。

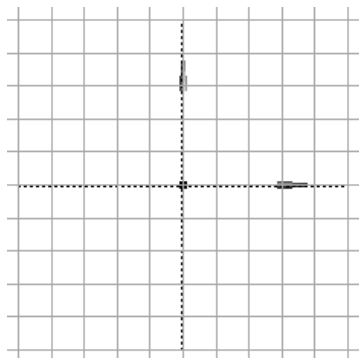


图 3.2.13 显示草图栅格

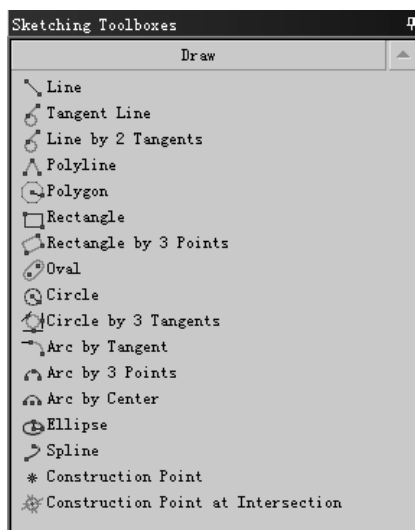





图 3.2.14 “Draw” 栏

1. 直线


- 步骤 01** 单击“Draw”栏中的  **Line** 按钮。
- 步骤 02** 在图形区单击以确定直线的起点，此时可看到一条“橡皮筋”线附在光标上。
- 步骤 03** 在图形区单击以确定直线的终点，系统便在两点间创建一条直线。



说明

- ◆ 在 DM 中绘制直线时，一次只能绘制一段直线。
- ◆ 在草绘模式下，单击  **Undo** 按钮可撤销上一步操作，单击  **Redo** 按钮可重新执行被撤销的操作。这两个按钮在草绘模式中十分有用。
- ◆ 绘制草图图元具有尺寸驱动功能，即图元的大小随着图元尺寸的改变而改变。
- ◆ 在绘制草图时，一般是先绘制大致的草图轮廓，然后标注其尺寸，最后修改尺寸值，即可获得最终所需要的草图。


2. 相切直线

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Tangent Line 按钮。

步骤 02 在任意圆弧上单击作为直线的起点，此时可看到一条“橡皮筋”线附在光标上。

步骤 03 在图形区其他位置单击以确定直线的终点，系统便在两点间创建一条直线，该直线与圆弧相切。

3. 两点相切直线

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Line by 2 Tangents 按钮。

步骤 02 定义第一个相切对象。根据提示 `Select first tangent item for line`，在图 3.2.15a 所示的圆弧 1 上单击一点。

步骤 03 定义第二个相切对象。根据提示 `Select second tangent item for line`，在图 3.2.15a 所示的圆弧 2 上单击与直线相切的位置点，这时便生成一条与两个圆（弧）相切的直线段。

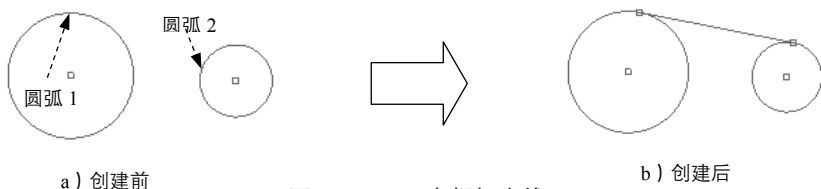



图 3.2.15 两点相切直线

4. 多段线

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Polyline 按钮。

步骤 02 单击直线的起始位置点，此时可看到一条“橡皮筋”线附着在坐标上。

步骤 03 单击直线的终止位置点，系统便在两点间创建一条直线，并且在直线的终点处出现另一条“橡皮筋”线。


步骤 04 重复步骤 3，可创建一系列连续的线段。

步骤 05 单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选取 `Open End` (或 `Closed End`) 选项，结束多段线的绘制。



在使用多段线命令创建时，其结束过程中选取 `Open End` 选项，则为开放的多段线（见图 3.2.16a）；若选取 `Closed End` 选项，则为首尾相连的闭合的多段线（图 3.2.16b）。

5. 多边形

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Polygon 按钮。

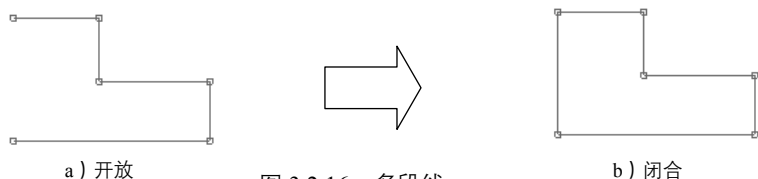


图 3.2.16 多段线

步骤 02 定义多边形的边数。在 **Polygon** 栏后的 **n =** 文本框中输入数值以确定其边数。

步骤 03 定义中心点。在图形区的任意位置单击以放置多边形的中心点，然后将该多边形拖至所需大小。

步骤 04 定义多边形上的顶点。在图形区再次单击以放置多边形的一个顶点。此时，系统即绘制一个多边形。

6. 矩形

步骤 01 单击“Draw”中的 **Rectangle** 按钮。

步骤 02 定义矩形的第一个角点。在图形区某位置单击，放置矩形的一个角点，然后将该矩形拖至所需大小。

步骤 03 定义矩形的第二个角点。再次单击，放置矩形的另一个角点。此时，系统即在两个角点间绘制一个矩形。



在使用矩形命令创建时，若勾选 **Rectangle** 其后的 **Auto-Fillet:** 复选框，则此时的矩形如图 3.2.17b 所示。

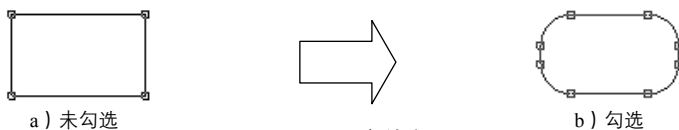


图 3.2.17 多线段

7. 三点矩形

步骤 01 单击“Draw”栏中的 **Rectangle by 3 Points** 按钮。

步骤 02 定义矩形的起点。在图形区某位置单击，放置矩形的起点，此时可看到一条“橡皮筋”线附着在鼠标指针上。


步骤 03 定义矩形的第一边终点。单击以放置矩形的第一边终点，然后将该矩形拖至所需大小。

步骤 04 定义矩形的一个角点。再次单击，放置矩形的一个角点。此时，系统以第二点与第



一点的距离为长，以第三点与第二点的距离为宽创建一个矩形。


8. 长圆形

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Oval 按钮。

步骤 02 定义中心点 1。在图形区的适当位置单击以放置长圆形的一个中心点。


步骤 03 定义中心点 2。移动光标至合适位置，单击以放置长圆形的另一个中心点，然后将该延长孔拖至所需大小，再次单击，放置长圆形上一点。此时，系统立即绘制一个长圆形。

9. 圆

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Circle 按钮。


步骤 02 定义圆的中心点及大小。在某位置单击，放置圆的中心点，然后将该圆拖至所需大小并单击确定。

10. 三相切圆

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Circle by 3 Tangents 按钮。

步骤 02 选取相切元素。分别选取三个元素，系统便自动创建与这三个元素相切的圆弧。


11. 相切圆弧

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Arc by Tangent 按钮。

步骤 02 选取相切对象定义圆弧起始位置点，然后将该圆弧拖至所需大小。

步骤 03 再次单击，放置圆弧的终止位置点。


12. 三点圆弧

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Arc by 3 Points 按钮。

步骤 02 在图形区某位置单击，放置圆弧的一个起点；在另一位置单击，放置圆弧上的终点。

步骤 03 此时移动鼠标指针，单击放置圆弧中间的一个端点。


13. 中心圆弧

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Arc by Center 按钮。

步骤 02 定义圆弧中心点。在某位置单击，确定圆弧中心点，然后将圆拉至所需大小。

步骤 03 定义圆弧端点。在图形区单击两点以确定圆弧的两个端点。

14. 椭圆

步骤 01 单击“Draw”栏中的  Ellipse 按钮。

- 步骤02 定义椭圆中心点。在图形区某位置单击，放置椭圆的中心点。
- 步骤03 定义椭圆长轴。在图形区某位置单击，定义椭圆的长轴和方向。
- 步骤04 确定椭圆大小。移动鼠标指针，将椭圆拉至所需形状并单击，完成椭圆的绘制。

15. 样条

- 步骤01 单击“Draw”栏中的 **Spline** 按钮。
- 步骤02 定义样条曲线的控制点。单击一系列点，可观察到一条“橡皮筋”样条附着在鼠标指针上。

步骤03 单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选取 **Open End** 选项，结束样条的绘制。

说明：在使用样条命令创建时，在 **Spline** 后的 **Flexible** ☒ 复选框决定了绘制后的样条是否具有可调性，且在结束样条的绘制方式上有以下几种情况。

- ◆ 选取 **Open End** 选项，则此时的样条如图 3.2.18 所示。
- ◆ 选取 **Open End with Fit Points** 选项，则此时的样条如图 3.2.19 所示。

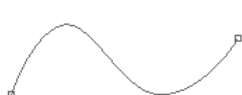


图 3.2.18 开放的



图 3.2.19 开放的（显示通过点）

- ◆ 选取 **Open End with Control Points** 选项，则此时的样条如图 3.2.20 所示。
- ◆ 选取 **Open End with Fit and Control Points** 选项，则此时的样条如图 3.2.21 所示。

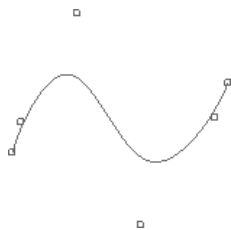


图 3.2.20 开放的（显示控制点）

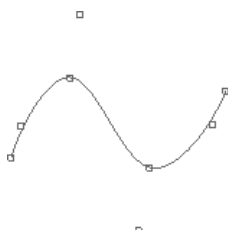


图 3.2.21 开放的（显示通过点和控制点）

- ◆ 选取 **Closed End** 选项，则此时的样条如图 3.2.22 所示。
- ◆ 选取 **Closed End with Fit Points** 选项，则此时的样条如图 3.2.23 所示。



图 3.2.22 闭合的



图 3.2.23 闭合的（显示通过点）

3.2.5 草图修改

在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡，在“Sketching Toolboxes”窗口中单击 **Modify** 按钮，打开图 3.2.24 所示的“Modify”栏，使用该栏中的命令可以绘制各种草图图元。下面具体介绍各种草图修改的操作方法。

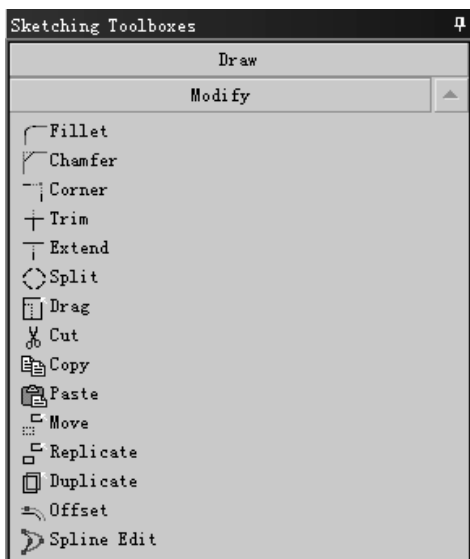


图 3.2.24 “Modify” 栏

1. 圆角

- 步骤 01** 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Fillet** 按钮。
- 步骤 02** 定义圆角参数。在其后的 **Radius:** 文本框中输入圆角半径值。
- 步骤 03** 选取圆角参考。选取图 3.2.25a 所示的两条边线为圆角参考。

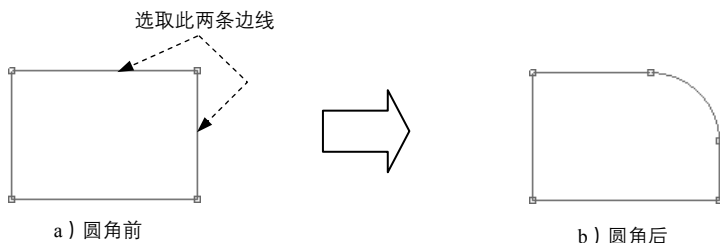


图 3.2.25 圆角

2. 倒角

- 步骤 01** 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Chamfer** 按钮。
- 步骤 02** 定义倒角参数。在其后的 **Length:** 文本框中输入长度值。
- 步骤 03** 选取倒角参考。选取图 3.2.26a 所示的两条边线为倒角参考。

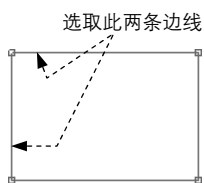
3. 拐角

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的  Corner 按钮。

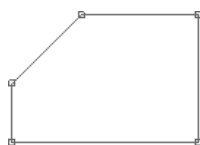
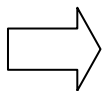
步骤 02 定义修剪的对象。依次单击两个相交图元上要修剪的一侧，如图 3.2.27 所示。



如果所选两图元不相交，则系统将其延伸，并将线段修剪至交点（图 3.2.28）。

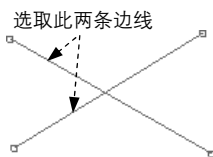


a) 倒角前

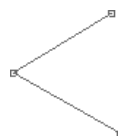
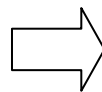


b) 倒角后

图 3.2.26 倒角

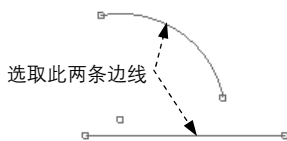


a) 裁剪前

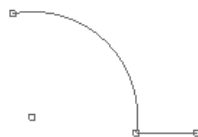
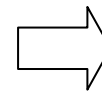


b) 裁剪后

图 3.2.27 修剪拐角




a) 裁剪前



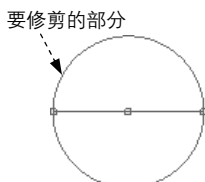
b) 裁剪后

图 3.2.28 延伸拐角

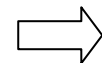
4. 修剪

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的  Trim 按钮。

步骤 02 定义修剪的对象。在图形区选取图 3.2.29a 所示的圆的上半部分为要修剪的部分，其修剪结果如图 3.2.29b 所示。



a) 修剪前



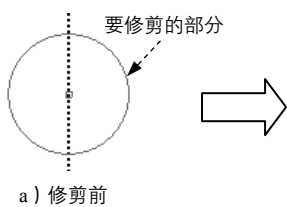
b) 修剪后

图 3.2.29 修剪



当修剪的对象与轴相交时，其 **Trim** 后的 **Ignore Axis** ☐ 复选框才能起到作用。

- ◆ 勾选 **Ignore Axis** ☒ 复选框，则忽略轴影响其修剪，其结果如图 3.2.30b 所示。
- ◆ 取消勾选 **Ignore Axis** ☐ 复选框，则未忽略轴影响其修剪，其结果如图 3.2.31b 所示。

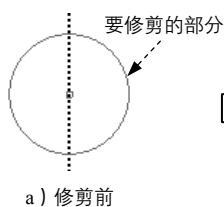


a) 修剪前



b) 修剪后

图 3.2.30 选中的结果



a) 修剪前



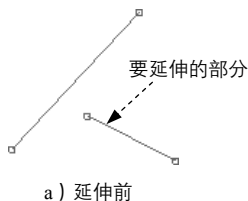
b) 修剪后

图 3.2.31 未选中的结果

5. 延伸

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Extend** 按钮。

步骤 02 定义要延伸的对象。在图形区选取图 3.2.32a 所示的直线为要延伸的部分，其延伸结果如图 3.2.32b 所示。



a) 延伸前



b) 延伸后

图 3.2.32 修剪

6. 分割

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Split** 按钮。

步骤 02 定义要分割的对象。单击一个要分割的图元，如图 3.2.33 所示，系统在单击处断开了图元。

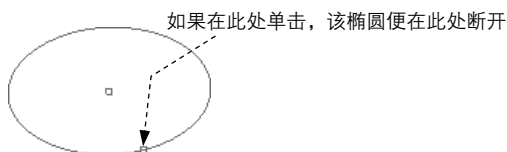


图 3.2.33 分割图元

7. 拖拽

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Drag** 按钮。

步骤 02 定义拖拽的对象。单击选择需要拖拽的图元对象进行拖拽, 如图 3.2.34 所示。



说明

在拖拽过程中选择不同的图元可以进行不同形式的拖拽, 如选择直线拖拽可以修改直线位置, 选择圆弧中心拖拽可以修改圆弧位置, 选择圆弧进行拖拽可以修改圆弧大小, 选择样条曲线拖拽可以修改样条曲线位置, 选择样条曲线端点拖拽可以修改样条曲线形状等。读者可自行练习拖拽操作。

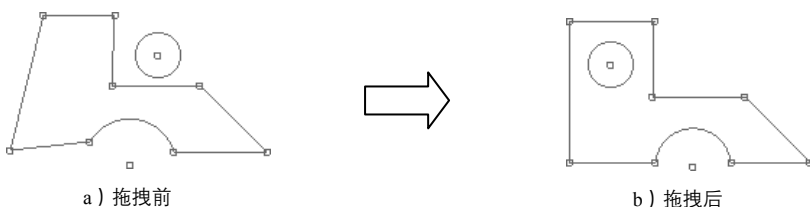


图 3.2.34 拖拽

8. 剪切与粘贴

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 Cut 按钮。

步骤 02 定义剪切的对象。在图形区选取图 3.2.35a 所示的所有草图边线。

步骤 03 定义粘贴手柄。在图形区空白处右击, 在弹出的快捷菜单 (图 3.2.36) 中选择 **End / Set Paste Handle** 命令结束选择, 然后选取图 3.2.35a 所示的点为粘贴手柄。

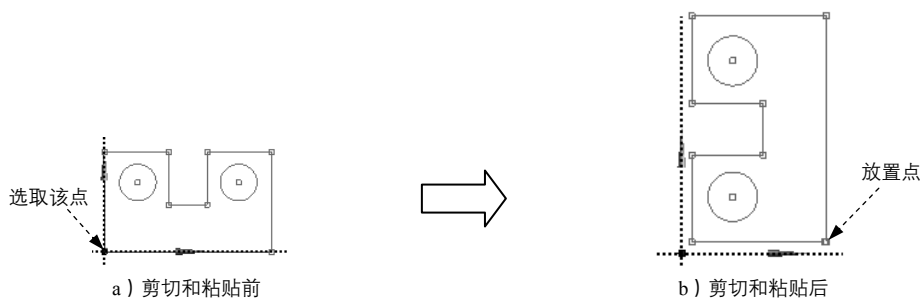


图 3.2.35 剪切和粘贴

步骤 04 定义粘贴参数。在“Modify”栏中 **r** 文本框中输入旋转角度值 90, 在 **f** 文本框中输入比例系数值 2。在图形区空白处右击, 在弹出的快捷菜单 (图 3.2.37) 中选择 **Rotate by r Degrees** 命令, 将图形逆时针旋转指定的角度值。再次在图形区空白处右击, 在弹出的快捷菜单 (图 3.2.37) 中选择 **Scale by factor f** 命令, 将图形按指定的比例系数进行放大。

图 3.2.36 所示的快捷菜单中部分选项说明如下。

- ◆ **Clear Selection** 选项: 用于取消已经选取的图元对象。
- ◆ **End / Set Paste Handle** 选项: 用于结束选择对象并开始设置粘贴手柄的位置点。

- ◆ **End / Use Plane Origin as Handle** 选项：用于结束选择对象并设置平面原点来作为粘贴手柄的位置点。
- ◆ **End / Use Default Paste Handle** 选项：用于结束选择对象并使用默认的粘贴手柄。

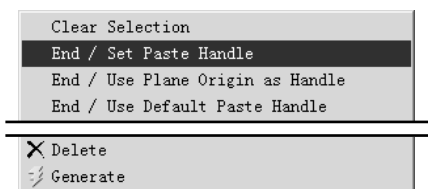


图 3.2.36 快捷菜单（一）

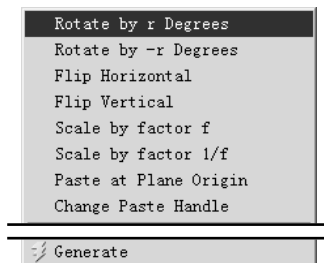


图 3.2.37 快捷菜单（二）

图 3.2.37 所示的快捷菜单中部分选项说明如下。

- ◆ **Rotate by r Degrees** 选项：将所选的图元对象逆时针旋转 **r** 参数指定的角度值。
- ◆ **Rotate by -r Degrees** 选项：将所选的图元对象顺时针旋转 **r** 参数指定的角度值。
- ◆ **Flip Horizontal** 选项：用于将所选的图元对象水平翻转。
- ◆ **Flip Vertical** 选项：用于将所选的图元对象竖直翻转。
- ◆ **Scale by factor f** 选项：用于将所选的图元对象放大 **f** 参数指定的倍数。
- ◆ **Scale by factor 1/f** 选项：用于将所选的图元对象缩小 **f** 参数指定的倍数。
- ◆ **Paste at Plane Origin** 选项：用于将所选的图元对象粘贴到平面原点位置。
- ◆ **Change Paste Handle** 选项：用于重新选择新的点作为粘贴手柄。

步骤 05 定义粘贴位置。在图形区选取新的位置点（图 3.2.38b），单击以放置粘贴结果。

步骤 06 结束操作。在图形区空白处右击，在系统弹出的快捷菜单中选择 **End** 命令，结束粘贴操作。

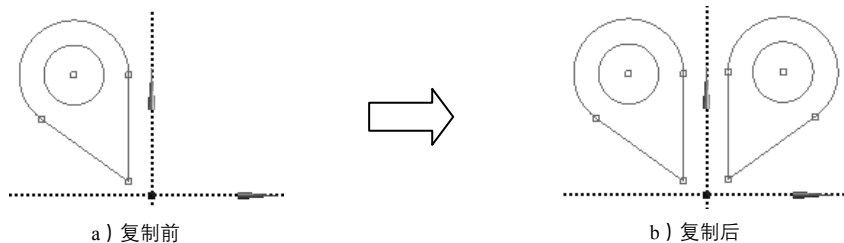


图 3.2.38 复制

9. 复制与粘贴

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Copy** 按钮。

步骤 02 定义复制对象。在图形区选取图 3.2.38a 所示的所有草图边线。

步骤 03 定义粘贴手柄。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **End / Use Plane Origin as Handle** 命令结束选择。

步骤 04 定义粘贴参数。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Flip Horizontal** 命令，将图形进行水平翻转。

步骤 05 定义粘贴位置。在图形区选取平面原点，单击以放置粘贴结果。

步骤 06 结束操作。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **End** 命令，结束粘贴操作。

10. 移动

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Move** 按钮。

步骤 02 定义复制对象。在图形区依次选取图 3.2.39a 所示的所有草图边线。

步骤 03 定义粘贴手柄。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **End / Set Paste Handle** 命令结束选择，然后选取图 3.2.39a 所示的点作为粘贴手柄。

步骤 04 定义粘贴位置。在图形区选取平面原点，单击以放置粘贴结果。

步骤 05 结束操作。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **End** 命令，结束粘贴操作。

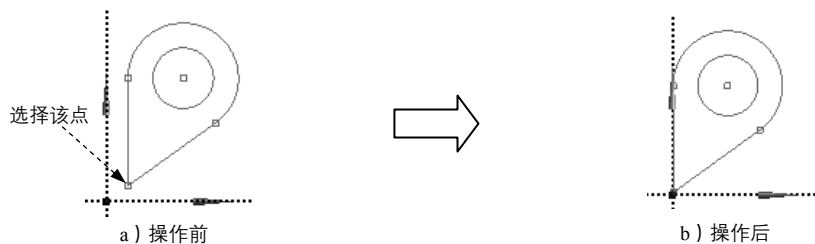


图 3.2.39 移动

11. 复制 (Replicate)

“Modify”栏中的 **Replicate** 按钮也可以实现对图元对象的复制操作，其操作方法与“移动”命令相似，此处不再赘述。

12. 重复

“Modify”栏中的 **Duplicate** 按钮可以实现对图元对象的复制操作，需要注意的是要复制的对象是同一个平面的不同草图中的图元对象。

13. 偏移

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Offset** 按钮。

步骤 02 定义偏移对象。在图形区依次选取图 3.2.40a 所示的圆边线。

步骤 03 定义放置位置。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **End selection / Place offset** 命令结束选择，然后选取图 3.2.40a 所示的点作为放置点。

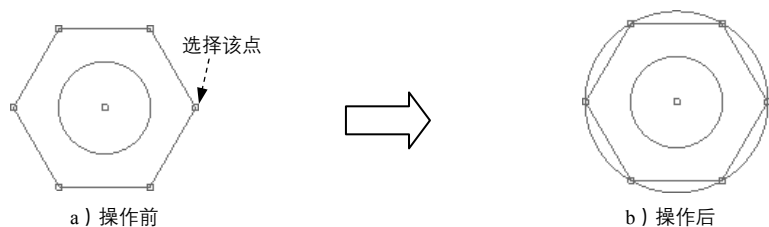


图 3.2.40 偏移

步骤 04 结束操作。在图形区空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **End** 命令，结束操作。

14. 编辑样条

步骤 01 选择命令。单击“Modify”栏中的 **Spline Edit** 按钮。

步骤 02 定义编辑对象。在图形区选取图 3.2.41a 所示的样条曲线。



在编辑的过程中样条必须是可调的（即在创建样条的过程中必须选中 **Flexible** ☒ 复选框）。

步骤 03 编辑样条。此时选取图 3.2.41b 所示样条曲线上的点进行移动，直至达到编辑的意图为止；单击鼠标右键，在弹出的快捷菜单中选取 **Select New Spline** 选项，结束样条的编辑。

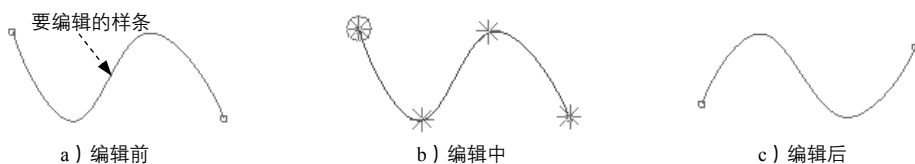


图 3.2.41 编辑样条

3.2.6 草图尺寸标注

在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡，在“Sketching Toolboxes”窗口中单击 **Dimensions** 按钮，打开图 3.2.42 所示的“Dimensions”栏，使用该栏中的命令可以对草图进行尺寸标注。下面具体介绍各种尺寸标注的操作方法（说明：读者练习本部分 1~7 知识点内容请打开相应练习文件：“D:\ansc14.0\work\ch03.02.06\dimensions.wbpj”）。

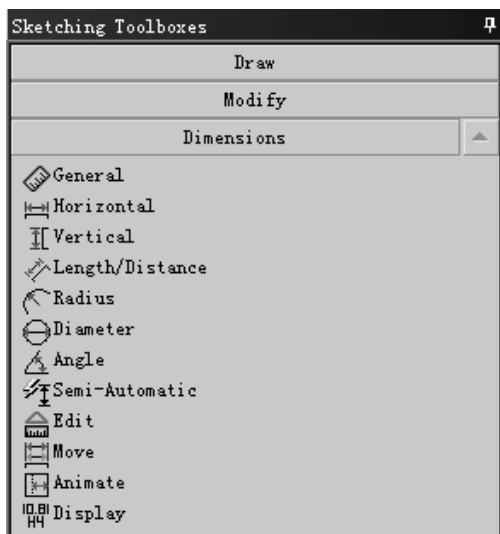


图 3.2.42 “Dimensions” 栏

1. 标注线段长度

步骤 01 选择命令。单击“Dimensions”栏中的 **General** 按钮。

步骤 02 选取标注对象。选取图 3.2.43a 所示的直线为标注对象，在合适位置单击放置尺寸标注，结果如图 3.2.43b 所示。

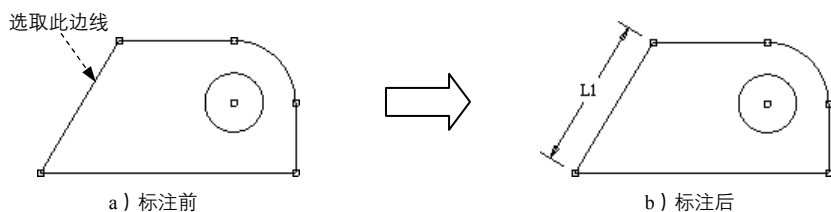


图 3.2.43 标注线段长度



完成尺寸标注后，在详细列表区弹出图 3.2.44 所示的“Details View”对话框，用于对标注的尺寸进行一些设置与修改。

图 3.2.44 所示的“Details View”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Sketch Visibility** 下拉列表：用于设置草图的可视性，包括以下三种可视性类型。
 - **Always Show Sketch** 选项：选中该选项，草图始终可见，只要不对其进行手动隐藏，在任何时候都是可见的。
 - **Show Sketch** 选项：选中该选项，设置草图可见，退出草图模式后，草图不可见。
 - **Hide Sketch** 选项：选中该选项，将草图设置为隐藏，退出草图模式后，草图不

可见。

- ◆ **Show Constraints?** 文本框：用于设置草图约束信息是否显示，选择 **No** 选项，在详细列表中不显示草图约束信息；选择 **Yes** 选项，在详细列表中显示草图约束信息（图 3.2.45）。
- ◆ **Dimensions: 1** 区域：用于修改尺寸值。

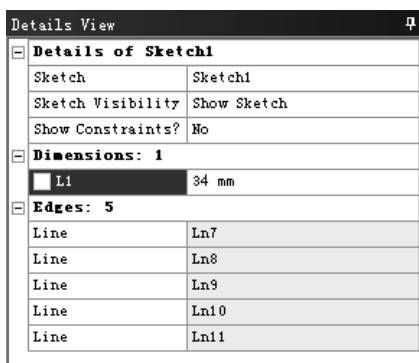


图 3.2.44 “Details View”对话框

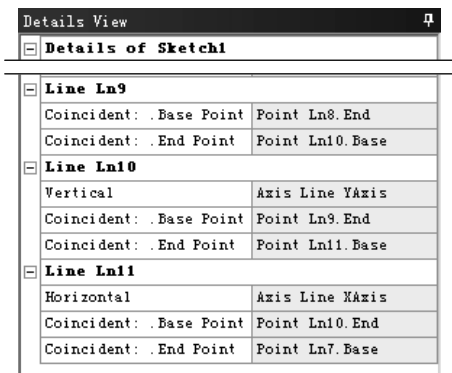


图 3.2.45 显示约束信息

2. 标注水平尺寸

步骤 01 选择命令。单击“Dimensions”栏中的 **Horizontal** 按钮。

步骤 02 选取标注对象。分别单击位置 1 和位置 2 所在的直线，单击位置 3 以放置尺寸，如图 3.2.46 所示。

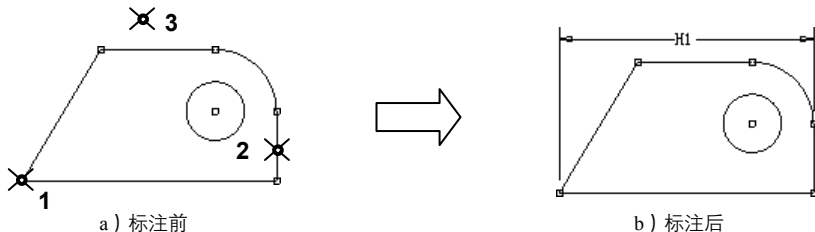


图 3.2.46 标注水平尺寸

3. 标注竖直尺寸

步骤 01 选择命令。单击“Dimensions”栏中的 **Vertical** 按钮。

步骤 02 选取标注对象。分别单击位置 1 和位置 2 所在的直线，单击位置 3 以放置尺寸，如图 3.2.47 所示。

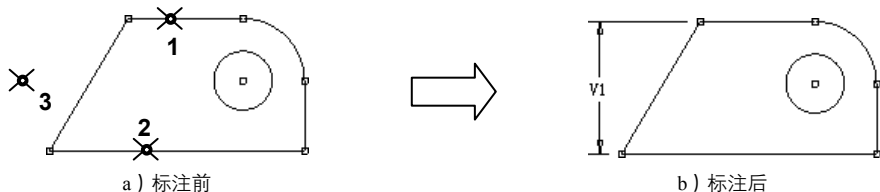



图 3.2.47 标注竖直尺寸

4. 标注长度/距离

步骤01 选择命令。单击“Dimensions”栏中的  Length/Distance 按钮。

步骤02 选取标注对象。分别单击位置 1 和位置 2 所在的直线，单击位置 3 以放置尺寸，如图 3.2.48 所示。

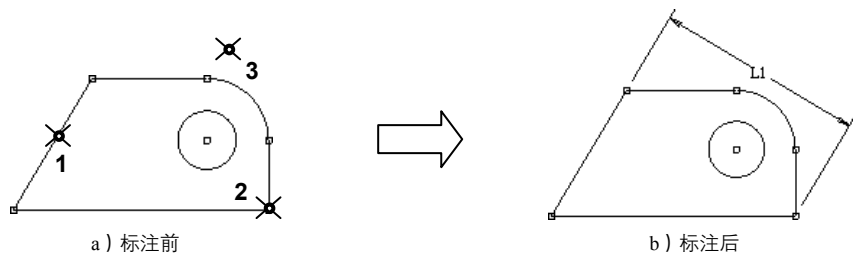



图 3.2.48 标注长度/距离

5. 标注半径

步骤01 选择命令。单击“Dimensions”栏中的  Radius 按钮。

步骤02 选取标注对象。选取圆为标注对象，在合适的位置单击以放置尺寸，如图 3.2.49 所示。

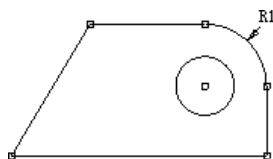


图 3.2.49 标注半径

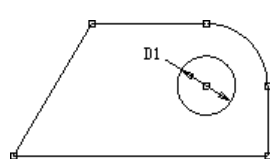


图 3.2.50 标注直径

7. 标注角度

步骤01 选择命令。单击“Dimensions”栏中的  Angle 按钮。

步骤02 选取标注对象。分别单击位置 1 和位置 2 所在的直线，单击位置 3 以放置尺寸，如图 3.2.51 所示。

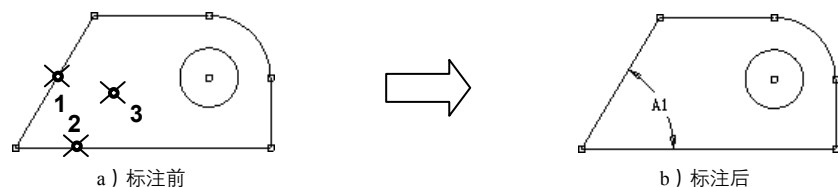


图 3.2.51 标注角度



在标注角度时，两条直线相交形成四个角度值，在空白处右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Alternate Angle** 命令可以实现不同角度的切换。

8. 尺寸的自动标注与修改

步骤 01 打开文件并进入 DM 建模环境。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.02.06\semi-automatic.wbpj”，在项目列表中双击 **DM Geometry**，进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡，在 “Sketching Toolboxes” 对话框中单击 **Dimensions** 按钮，打开 “Dimensions” 栏，单击 **Semi-Automatic** 按钮，系统自动标注尺寸，结果如图 3.2.52b 所示。

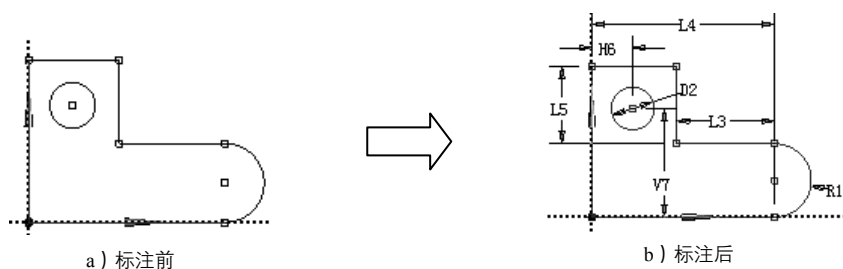


图 3.2.52 自动标注尺寸

步骤 03 修改尺寸值。在弹出的 “Details View” 的 **Dimensions: 1** 区域下修改尺寸值，结果如图 3.2.53 所示。

步骤 04 移动尺寸。在 “Dimensions” 栏中单击 **Move** 按钮，可对草图中的尺寸进行移动，完成移动后的结果如图 3.2.54 所示。

Details View	
Details of Sketch1	
Sketch	Sketch1
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 7	
<input type="checkbox"/> D2	4 mm
<input type="checkbox"/> H6	3.5 mm
<input type="checkbox"/> L3	8 mm
<input type="checkbox"/> L4	18 mm
<input type="checkbox"/> L5	7 mm
<input type="checkbox"/> R1	3 mm
<input checked="" type="checkbox"/> V7	10 mm

图 3.2.53 修改尺寸值

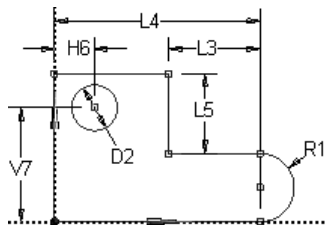



图 3.2.54 移动尺寸

步骤 05 修改尺寸。在“Dimensions”栏中单击  **Edit** 按钮，在图形中选中需要修改的尺寸（如 H6 的尺寸），弹出图 3.2.55 所示的“Details View”对话框，在该对话框中的 **Horizontal** 文本框中修改名称 H7，并按回车键，用同样的方法修改其他尺寸名称，结果如图 3.2.56 所示。

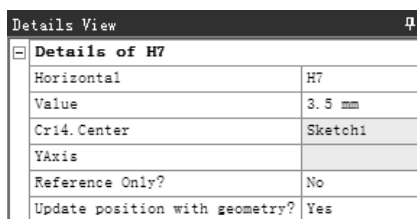


图 3.2.55 “Details View”对话框

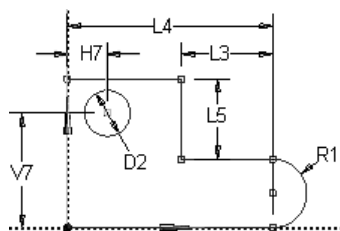



图 3.2.56 修改尺寸

步骤 06 修改尺寸显示样式。在默认情况下，完成尺寸标注后，系统显示的是尺寸的“名称”（图 3.2.56），在“Dimensions”对话框中单击  **Display** 按钮，选中其后的 ☒ **Value** 复选框，系统将同时显示尺寸值，如图 3.2.57 所示；取消选中 **Name** ☐ 复选框，系统将只显示尺寸值，如图 3.2.58 所示。

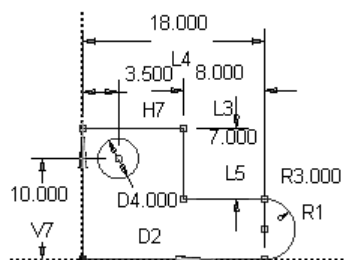


图 3.2.57 修改尺寸显示样式（一）

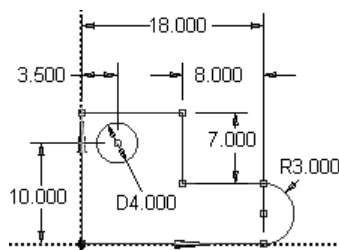


图 3.2.58 修改尺寸显示样式（二）

3.2.7 草图约束

在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡，在“Sketching Toolboxes”对话框中单击 **Constraints** 按钮，打开图 3.2.59 所示的“Constraints”栏，使用该窗口中的命令可以对草图进行约束。下面具体介绍各种约束的操作方法。

1. 各种约束类型

各种约束类型及其含义见表 3.2.1。

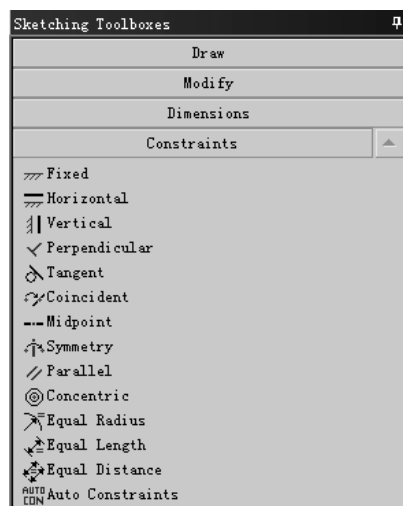


图 3.2.59 “Constraints”栏

表 3.2.1 约束类型

按钮	约 束 含 义
Fixed	固定草图图元
Horizontal	约束直线水平
Vertical	约束直线竖直
Perpendicular	约束两直线对象垂直
Tangent	约束直线和圆弧或圆弧与圆弧相切
Coincident	约束点在线上或直线与直线共线
Midpoint	约束点为直线的中点
Symmetry	约束两图元关于中心轴对称
Parallel	约束两直线平行
Concentric	约束圆弧与圆弧或两圆同心
Equal Radius	约束两圆弧等半径
Equal Length	约束两直线等长度
Equal Distance	约束两距离值相等

2. 创建约束

下面以图 3.2.60 所示的添加约束为例，介绍添加约束的操作步骤。

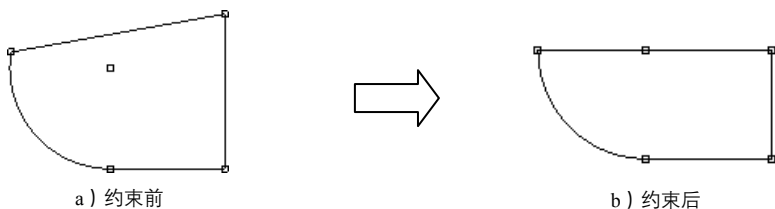


图 3.2.60 添加约束

步骤 01 打开文件并进入 DM 建模环境。选择 **File** **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.02.07\constraints.wbpj”，在项目列表中双击 **DM Geometry** ，进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡，在 “Sketching Toolboxes” 对话框中单击 **Constraints** 按钮，打开 “Constraints” 栏。

步骤 03 添加水平约束。单击 “Constraints” 栏中的 **Horizontal** 按钮，选取图 3.2.60a 中的倾斜直线为约束对象，结果如图 3.2.61 所示。

步骤 04 添加点到直线上约束。单击 **Coincident** 按钮，选取图 3.2.61 所示的圆弧圆心和直

线为约束对象，结果如图 3.2.60b 所示。

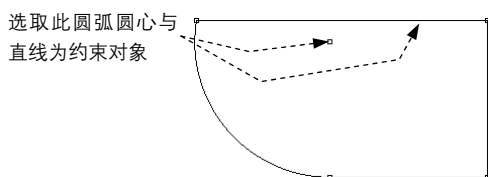


图 3.2.61 选取约束对象

3.3 几何体建模

3.3.1 基本体素建模

一般而言，球体、长方体、圆柱体和圆锥体等一些基本体素特征常常作为三维实体模型的基础特征使用，然后在基础特征上通过添加其他结构特征，得到所需的实体模型，因此基本体素对实体模型的创建来说是最基础也是比较常用的特征。下面具体介绍几种常用的基本体素创建方法。

1. 创建球体

下面以图 3.3.1 所示的球体为例介绍创建球体的一般操作过程。

步骤 01 新建几何体并进入 DM 建模环境。在 ANSYS Workbench 界面中，双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Geometry** 选项，新建一个项目列表，双击 **Geometry**，弹出“ANSYS Workbench”对话框。在“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 单选项，单击 **OK** 按钮，进入 DM 建模环境。



由于新建几何体及进入 DM 建模环境的操作过程比较烦琐，本书后面章节相同操作如无特别说明均采用简写方式写作，详细操作与此处一致。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Primitives** → **Sphere** 命令，弹出图 3.3.2 所示的“Details View”对话框。



图 3.3.1 创建球体

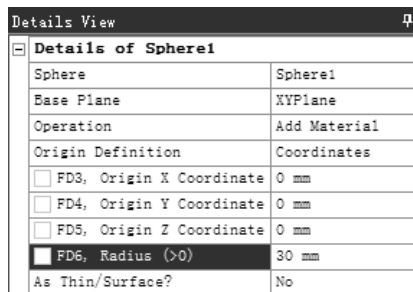


图 3.3.2 “Details View”对话框

步骤 03 定义球体参数。采用系统默认的坐标原点为球心，在“Details View”对话框的 **FD6, Radius (>0)** 文本框中输入球体半径值 30，单击 **Generate** 按钮，完成球体的创建。

2. 创建长方体

下面以图 3.3.3 所示的长方体为例介绍创建长方体的一般操作过程。

步骤 01 新建几何体并进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Primitives** → **Box** 命令，弹出图 3.3.4 所示的“Details View”对话框。

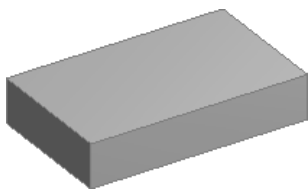


图 3.3.3 创建长方体

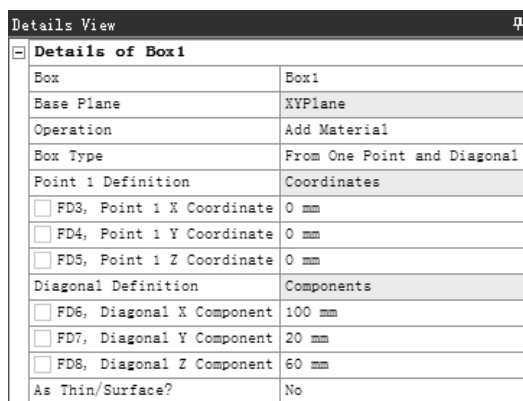


图 3.3.4 “Details View”对话框

步骤 03 定义长方体参数。采用系统默认的坐标原点为长方体的顶点，在“Details View”对话框的 **FD6, Diagonal X Component** 文本框中输入长方体 X 轴向的长度值 100，在 **FD7, Diagonal Y Component** 文本框中输入 Y 轴向的长度值 20，在 **FD8, Diagonal Z Component** 文本框中输入 Z 轴向长度值 60，单击 **Generate** 按钮，完成长方体的创建。

3. 创建圆柱体

下面以图 3.3.5 所示的圆柱体为例介绍创建圆柱体的一般操作过程。

步骤 01 新建几何体并进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Primitives** → **Cylinder** 命令，弹出图 3.3.6 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 定义圆柱体参数。采用系统默认的坐标原点为圆柱体的底部圆心，在“Details View”对话框的 **FD6, Axis X Component** 文本框中输入圆柱体 X 轴向的长度值 0，在 **FD7, Axis Y Component** 文本框中输入 Y 轴向的长度值 0，在 **FD8, Axis Z Component** 文本框中输入 Z 轴向长度值 50，在 **FD10, Radius (>0)** 文本框中输入圆柱体的半径值 80，单击 **Generate** 按钮，完成圆柱体的创建。

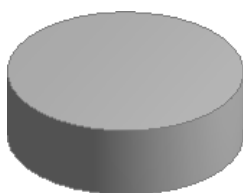


图 3.3.5 创建圆柱体

Details View	
Details of Cylinder1	
Cylinder	Cylinder1
Base Plane	XYPlane
Operation	Add Material
Origin Definition	Coordinates
<input type="checkbox"/> FD3, Origin X Coordinate	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Origin Y Coordinate	0 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Origin Z Coordinate	0 mm
Axis Definition	Components
<input type="checkbox"/> FD6, Axis X Component	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Axis Y Component	0 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Axis Z Component	50 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Radius (>0)	80 mm
As Thin/Surface?	No

图 3.3.6 “Details View”对话框

4. 创建圆锥体

下面以图 3.3.7 所示的圆锥体为例介绍创建圆锥体的一般操作过程。

步骤 01 新建几何体并进入 DM 建模环境。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Primitives** → **Cone** 命令，弹出图 3.3.8 所示的“Details View”对话框。



图 3.3.7 创建圆锥体

Details View	
Details of Cone1	
Cone	Cone1
Base Plane	XYPlane
Operation	Add Material
Origin Definition	Coordinates
<input type="checkbox"/> FD3, Origin X Coordinate	0 mm
<input type="checkbox"/> FD4, Origin Y Coordinate	0 mm
<input type="checkbox"/> FD5, Origin Z Coordinate	0 mm
Axis Definition	Components
<input type="checkbox"/> FD6, Axis X Component	0 mm
<input type="checkbox"/> FD7, Axis Y Component	0 mm
<input type="checkbox"/> FD8, Axis Z Component	80 mm
<input type="checkbox"/> FD10, Base Radius (>=0)	50 mm
<input type="checkbox"/> FD11, Top Radius (>=0)	0 mm
As Thin/Surface?	No

图 3.3.8 “Details View”对话框

步骤 03 定义圆锥体参数。采用系统默认的坐标原点为圆锥体底部圆心，在“Details View”对话框的 ☐ **FD6, Axis X Component** 文本框中输入圆锥体 X 轴向的长度值 0，在 ☐ **FD7, Axis Y Component** 文本框中输入 Y 轴向的长度值 0，在 ☐ **FD8, Axis Z Component** 文本框中输入 Z 轴向长度值 80，在 ☐ **FD10, Base Radius (>=0)** 文本框中输入圆锥体的底部半径值 50，在 ☐ **FD11, Top Radius (>=0)** 文本框中输入圆锥体的顶部半径值 0，单击 **Generate** 按钮，完成圆锥体的创建。

3.3.2 拉伸

拉伸特征是将二维截面草图沿着某一指定方向拉伸而成的特征，它是最常用的实体建模方法。下面以图 3.3.9 所示的简单实体三维模型为例，说明拉伸特征的创建方法，同时介绍在 DM 中进行三维实体模型创建的一般过程。

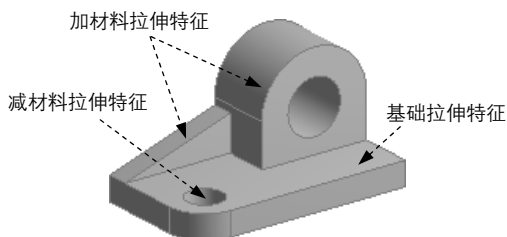


图 3.3.9 实体三维模型

1. 创建基础特征

下面以创建图 3.3.10 所示的拉伸特征为例，说明创建拉伸特征的一般步骤。

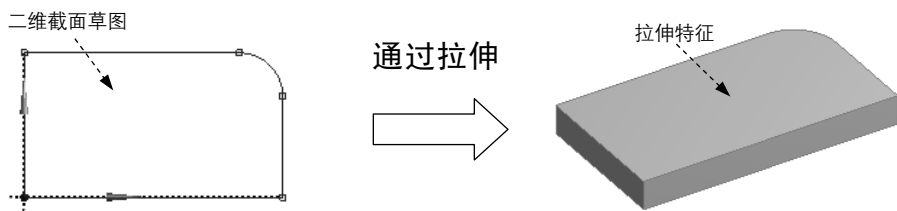



图 3.3.10 拉伸特征

任务 01 新建几何体并进入到 DM 建模环境

在 ANSYS Workbench 界面中，双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Geometry** 选项，新建一个项目列表，双击 **Geometry**，系统弹出“ANSYS Workbench”对话框。在“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 单选项，单击 **OK** 按钮，进入 DM 建模环境。

任务 02 定义拉伸特征的二维截面草图

在绘制二维截面草图时，一般先绘制其大体轮廓形状，然后添加几何约束，最后标注草图尺寸并修改尺寸值，下面具体介绍其绘制过程。

步骤 01 进入草图模式。在“草图绘制”工具条中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 XYPlane 平面为草图平面，单击工具条中的  按钮，在 XYPlane 平面下新建一草图，在选项卡区域打开



Sketching 选项卡进入草图绘制模式。

步骤 02 绘制截面草图 Sketch1。

本例中的基础凸台特征的截面草图图形如图 3.3.11 所示，其绘制步骤如下。

(1) 绘制图 3.3.12 所示的截面草图的大体轮廓。

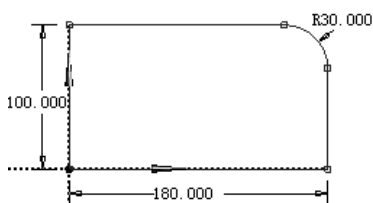


图 3.3.11 截面草图 Sketch1

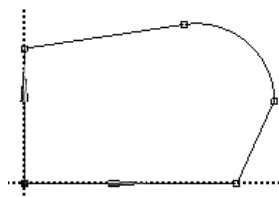


图 3.3.12 大体轮廓

(2) 建立几何约束。建立图 3.3.13 所示的水平、竖直、相切等约束。

(3) 建立尺寸约束。建立图 3.3.14 所示的三个尺寸约束。

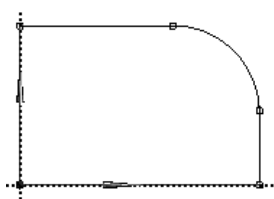


图 3.3.13 建立几何约束

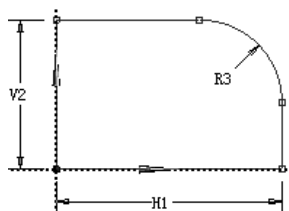


图 3.3.14 建立尺寸约束

(4) 修改尺寸。将尺寸修改为设计要求的尺寸，此时“Details View”对话框如图 3.3.15 所示，并在 **Dimensions** 窗口下单击 **Move** 按钮，调整尺寸至合适的位置。

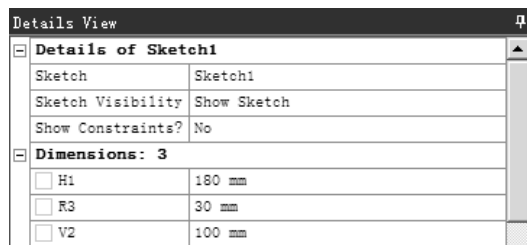


图 3.3.15 修改尺寸

步骤 03 完成草图绘制，打开 **Modeling** 选项卡，退出草图绘制模式。

任务 03 创建基础拉伸特征


完成二维截面草图绘制后，可以对其进行拉伸，得到所需要的拉伸特征，下面具体介绍创建拉伸特征的一般操作过程。

步骤 01 选择命令。选择 **Create**  **Extrude** 命令，弹出图 3.3.16 所示的“Details View”



步骤 02 定义拉伸属性。在“Details View”对话框中的 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Material** 选项，采用系统默认有加材料。

步骤 03 定义拉伸深度方向。拉伸方向采用系统默认的矢量方向。

步骤 04 定义拉伸深度值。在“Details View”对话框中的  文本框中输入拉伸深度值 20。

步骤 05 单击 **Generate** 按钮，完成基础拉伸特征的创建。

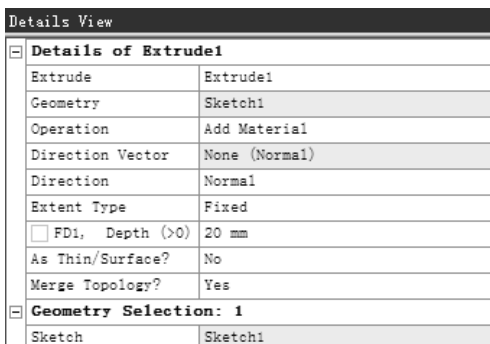


图 3.3.16 “Details View” 对话框

图 3.3.16 所示的“Details View”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Extent Type** 下拉列表：可以选取特征的拉伸深度类型，各选项说明如下。
 - **Fixed** 选项：特征将从草图平面开始，按照所输入的数值（即拉伸深度值）向特征创建的方向进行拉伸。
 - **Through All** 选项：沿指定方向，使其完全贯通所有。
 - **To Next** 选项：特征将拉伸至零件的下一个曲面处终止。
 - **To Faces** 选项：特征在拉伸方向上延伸，直到与用户指定的平面相交。
 - **To Surface** 选项：特征在拉伸方向上延伸，直到与用户指定的曲面相交。
- ◆ **Operation** 下拉列表：如果图形区在拉伸之前已经创建了其他实体，则可以在进行拉伸的同时，与这些实体进行布尔操作，包括 **Add Material**（加材料）、**Cut Material**（减材料）、**Imprint Faces**（印贴面）、**Slice Material**（材料分割）和 **Add Frozen**（增加冻结）。
- ◆ **Direction** 下拉列表：定义拉伸方向的类型，各选项说明如下。
 - **Normal** 选项：系统默认的拉伸方向。
 - **Reversed** 选项：与系统默认的拉伸方向相反。
 - **Both - Symmetric** 选项：用于在拉伸截面两侧进行对称拉伸。


- **Both - Asymmetric** 选项：用于在拉伸截面两侧进行非对称拉伸。

2. 创建其他几何特征

任务 01 添加加材料拉伸特征

在创建零件的基本特征后，可以增加其他特征。接前面的模型，现在要添加图 3.3.17 所示的加材料拉伸特征（一），操作步骤如下。

步骤 01 创建草图 Sketch2。

（1）定义草图平面并选取草图命令。在“草图绘制”工具条中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 **ZXPlane** 平面为草图平面，单击工具条中的“New Sketch”按钮 ，在选项卡区域打开 **Sketching** 选项卡进入草图绘制模式。

（2）绘制图 3.3.18 所示的截面草图。

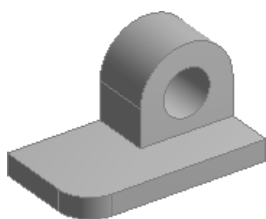


图 3.3.17 添加材料拉伸特征 1

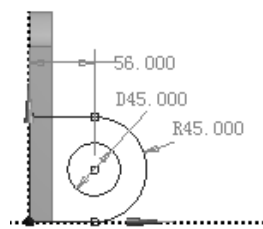


图 3.3.18 截面草图 Sketch2

（3）完成草图绘制，打开 **Modeling** 选项卡，退出草图绘制模式。

步骤 02 创建加材料拉伸特征 1。

（1）选择命令。选择 **Create**  **Extrude** 命令，弹出“Details View”对话框。

（2）定义拉伸截面。选取 Sketch2 为截面，在“Details View”对话框中的 **Geometry** 文本框中单击 **Apply** 按钮确认。


（3）定义拉伸属性。在“Details View”对话框中的 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Material** 选项，采用系统默认的加材料。

（4）定义拉伸深度方向。采用系统默认的拉伸方向。

（5）定义拉伸深度值。在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 55。

步骤 03 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

步骤 04 添加图 3.3.19 所示的加材料拉伸特征 2。

（1）绘制 Sketch3。在“草图绘制”工具条中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 **ZXPlane** 平面作为草图平面，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.3.20 所示的截面草图 Sketch3。

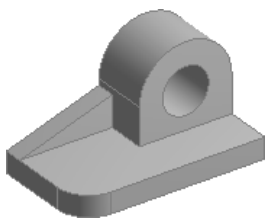


图 3.3.19 添加材料拉伸特征 2

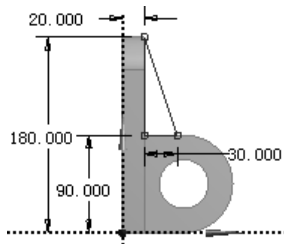


图 3.3.20 截面草图 Sketch3



说明

前面绘制的 Sketch2 和现在绘制的 Sketch3 都是在 ZXPlane 平面上绘制的，一旦进入到 ZXPlane 平面，该平面中的所有草图都是可见的，在绘制新草图时，可以根据需要隐藏或显示该平面中其他的草图。操作方法是：在“Tree Outline”窗口中选择草图右击，在弹出的快捷菜单中选择 Hide Sketch 命令，可以将选中的草图隐藏；在弹出的快捷菜单中选择 Show Sketch 命令，可以将隐藏的草图重新显示处理。

(2) 选择 Create Extrude 命令，选取 Sketch3 为截面，在 Operation 下拉列表中选择 Add Material 选项，采用系统默认的拉伸方向；在 FD1, Depth (>0) 文本框中输入数值 18；单击 Generate 按钮，完成特征的创建。



说明

一般地，当图形区中只有一个草图时，系统默认对这个草图为拉伸截面进行拉伸操作，当图形区存在多个草图时，特别是同时对前面的草图进行过一些操作（如隐藏与显示操作）后，系统会以这些草图作为拉伸截面，所以此处需要特别定义正确的草图作为拉伸截面进行拉伸。

任务 02 添加减材料拉伸特征

减材料拉伸特征的创建方法与加材料拉伸特征基本一致，只不过加材料拉伸是增加实体，而减材料拉伸则是减去实体。现在要添加图 3.3.21 所示的减材料拉伸特征，其操作步骤如下。

步骤 01 添加图 3.3.21 所示的减材料拉伸特征。

(1) 绘制 Sketch4。在“草图绘制”工具条中的 XYPlane 下拉列表中选择 XYPlane 平面为草图平面，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.3.22 所示的截面草图。

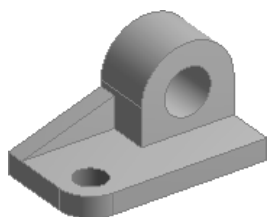


图 3.3.21 添加减材料拉伸特征

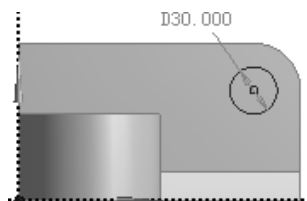


图 3.3.22 截面草图 Sketch4

(2) 创建拉伸特征。选择下拉菜单 **Create** → **Extrude** 命令，选取 Sketch4 为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Cut Material** 选项，采用系统默认的拉伸方向；在“Details View”对话框的 **Extent Type** 下拉列表框中选择 **Through All** 选项，单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

步骤 02 保存文件。选择 **File** → **Save Project** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 extrude，单击 **保存(S)** 按钮保存模型文件。

3.3.3 特征操作与编辑

完成三维实体模型的创建后，根据设计需要或分析需要，往往需要对模型中的特征进行各种操作或编辑，使其满足设计与分析需要，下面具体介绍常用的特征操作与编辑的操作过程。学习本小节的内容时，读者打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.03.03\feature.wbpj”进行练习。

1. 特征的抑制与取消抑制

步骤 01 抑制特征。抑制特征就是将某一特征从几何体中暂时隐藏起来，特征一旦抑制，在几何体中是不可见的，也不参与到分析计算中。在“Tree Outline”窗口中选中 **Extrude3** 并右击，弹出图 3.3.23 所示的快捷菜单，在快捷菜单中选择 **Suppress** 命令，系统将拉伸特征 3 抑制，结果如图 3.3.24 所示。

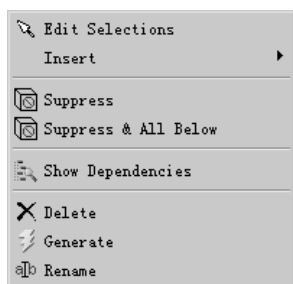


图 3.3.23 快捷菜单

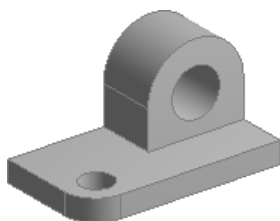



图 3.3.24 特征的抑制

步骤 02 取消抑制特征。取消抑制特征就是将之前抑制的特征恢复过来，使其重新在几何体中是可见的，参与到分析计算中。在“Tree Outline”窗口中选中 **Extrude3** 并右击，弹出图 3.3.25

所示的快捷菜单，在快捷菜单中选择  Unsuppress 命令，将之前抑制的拉伸特征 3 恢复，结果如图 3.3.26 所示。

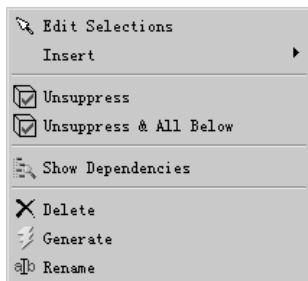


图 3.3.25 快捷菜单

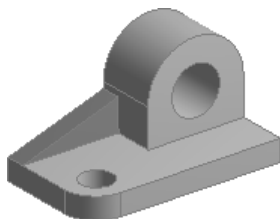






图 3.3.26 恢复特征

2. 多步抑制与多步取消抑制

步骤 01 多步抑制。多步抑制就是将某一特征后面创建的所有特征从几何体中暂时隐藏起来，在“Tree Outline”窗口中选中  Extrude2 并右击，在弹出的快捷菜单中选择  Suppress & All Below 命令，系统将拉伸特征 2 及其后面的所有特征抑制，结果如图 3.3.27 所示。

步骤 02 取消多步抑制。取消多步抑制就是将抑制的多步特征恢复，在“Tree Outline”窗口中选中  Extrude2 并右击，在弹出的快捷菜单中选择  Unsuppress & All Below 命令，将拉伸特征 2 及其后面的所有抑制特征恢复。

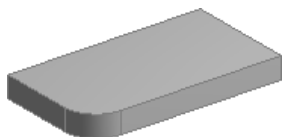


图 3.3.27 多步抑制

3. 删除特征



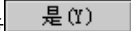
使用删除特征命令可以将模型中的某一特征删除，删除的特征对象是不能恢复的。在“Tree Outline”窗口中选中  Extrude4 并右击，在弹出的快捷菜单中选择  Delete 命令，弹出图 3.3.28 所示的“提示”对话框，单击  是(Y) 按钮，即可将拉伸特征 4 从几何体中删除，结果如图 3.3.29 所示。



图 3.3.28 “提示”对话框

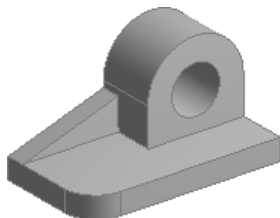


图 3.3.29 删除特征

3.3.4 旋转

旋转 (Revolve) 特征是将一个二维截面草图绕着一条轴线旋转一定的角度 (默认为 360°) 而形成的特征。下面以图 3.3.30 所示的旋转特征为例, 介绍创建旋转特征的一般过程。

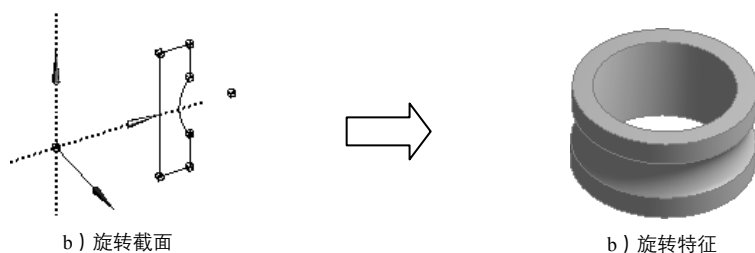


图 3.3.30 创建旋转特征

步骤 01 打开文件 “D:\ansys14.0\work\ch03.03.04\revolve.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** \rightarrow **Revolve** 命令, 弹出图 3.3.31 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义旋转截面。选取 Sketch1 为旋转特征截面, 单击 **Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。

步骤 04 定义旋转轴。单击对话框中 **Axis** 后的文本框, 在图形区选取图 3.3.32 所示的轴线为旋转轴, 单击 **Axis** 文本框后的 **Apply** 按钮, 完成旋转轴的定义。

步骤 05 定义旋转角度。采用系统默认的 360° 为旋转角度。

步骤 06 单击 **Generate** 按钮, 完成旋转特征的创建。

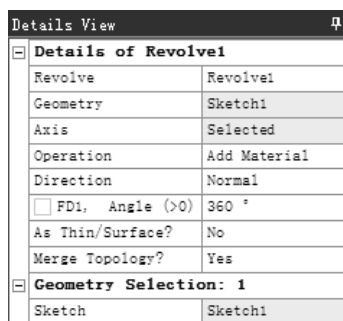


图 3.3.31 “Details View” 对话框

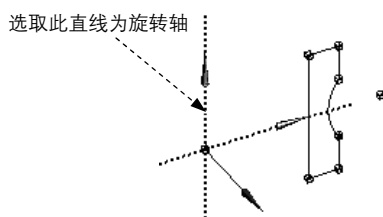


图 3.3.32 选取旋转轴

3.3.5 圆角

在 DM 中包括三种方式的圆角: 固定半径圆角、可变半径圆角和顶点圆角, 下面具体介绍这三种倒圆角的创建方法。

1. 固定半径圆角

下面以图 3.3.33 所示的模型为例，说明创建固定半径圆角的一般过程。

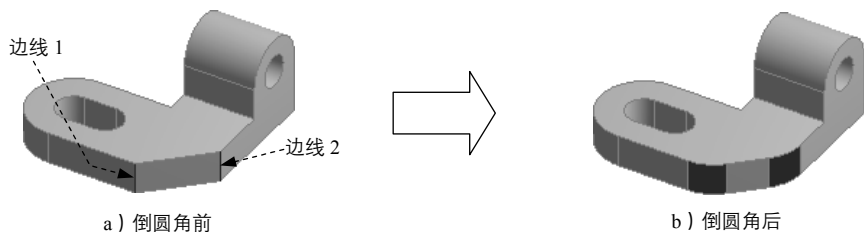


图 3.3.33 固定半径圆角

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.05\fix-round.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** **Fixed Radius Blend** 命令，弹出图 3.3.34 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义要倒圆角的对象。按住 Ctrl 键，选取图 3.3.33a 所示的边线 1 和边线 2 为要倒圆角的对象，单击 **Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮。

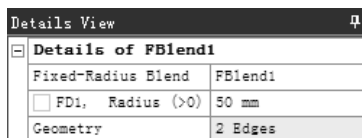


图 3.3.34 “Details View” 对话框

步骤 04 定义圆角半径。在 **FD1, Radius (>0)** 文本框中输入数值 50。

步骤 05 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

2. 可变半径圆角

下面以图 3.3.35 所示的简单模型为例，说明创建可变半径圆角特征的一般过程。

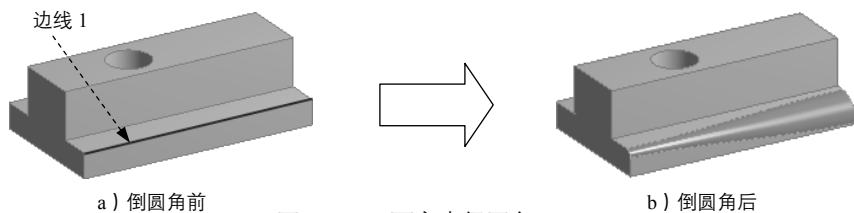


图 3.3.35 可变半径圆角

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.05\variable-round.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** **Variable Radius Blend** 命令，弹出图 3.3.36 所示的 “Details of View” 对话框。

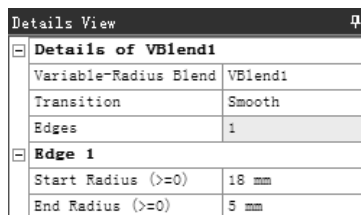


图 3.3.36 “Details View”对话框

步骤03 选择要倒圆角的对象。在模型上选取图 3.3.35a 所示的边线 1，单击 **Edges** 文本框中的 **Apply** 按钮。

步骤04 定义圆角半径。在 **Start Radius (>=0)** 文本框中输入数值 18，在 **End Radius (>=0)** 文本框中输入数值 5。

步骤05 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

3. 顶点圆角

顶点圆角主要用于对曲面体和线体进行倒圆角，其中，顶点必须属于曲面体或线体，必须与两条边相交，顶点周围的几何体必须是平面的。下面以图 3.3.37 所示的简单模型为例，说明创建顶点圆角特征的一般过程。

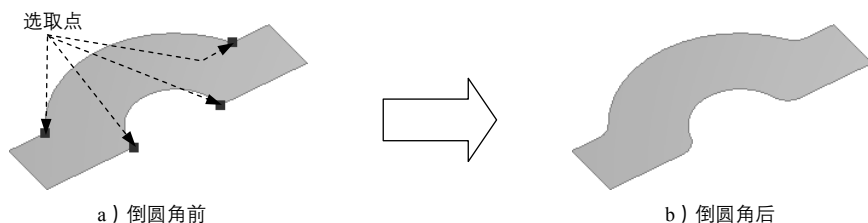
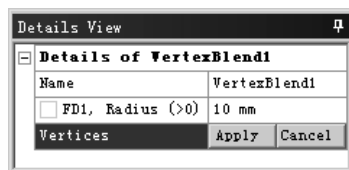


图 3.3.37 顶点圆角


步骤01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.05\vertex-round.wbpj”。

步骤02 选择命令。选择 **Create** → **Vertex Blend** 命令，弹出图 3.3.38 所示的 “Details View” 对话框。



步骤03 选择要倒圆角的对象。按住 Ctrl 键，在模型上选取图 3.3.37a 所示的四点为对象，单击 **Vertices** 文本框中的 **Apply** 按钮。

步骤04 定义圆角半径。在 **FD1, Radius (>0)** 文本框中输入数值 4。

步骤05 单击  按钮，完成特征的创建。

3.3.6 倒斜角

下面以图 3.3.39 所示的模型倒斜角为例，介绍倒斜角的一般创建过程。

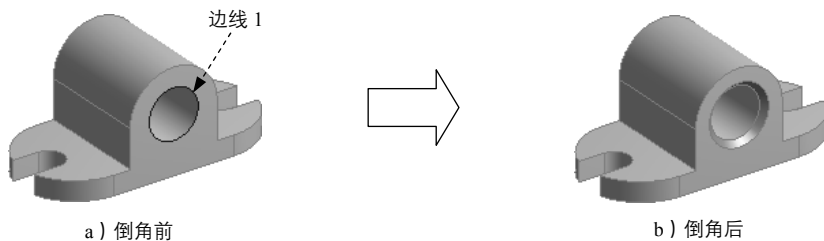


图 3.3.39 倒斜角特征

步骤01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.06\chamfer.wbpj”。

步骤02 选择命令。选择   **Chamfer** 命令，弹出图 3.3.40 所示的 “Details View” 对话框。

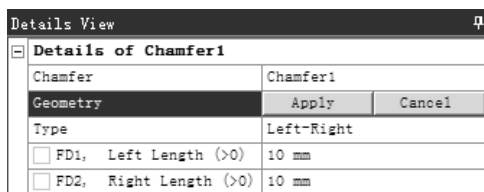


图 3.3.40 “Details View” 对话框

步骤03 选择要倒角的对象。选取图 3.3.39a 所示的模型边线为要倒角的对象。

步骤04 定义倒角参数。

(1) 定义倒角模式。在 **Type** 下拉列表中选择 **Left-Right** 选项。

(2) 定义倒角尺寸。在 **FD1, Left Length (>0)** 和 **FD2, Right Length (>0)** 文本框中均输入数值 10。

步骤05 单击  按钮，完成特征的创建。



图 3.3.40 所示的 “Details View” 对话框的 **Type** 下拉列表，用于定义倒角的表示方法，模式中有三种类型。

- ◆ **Left-Right** 选项：创建的倒角沿两个邻接曲面距选定边的距离。
- ◆ **Left-Angle** 选项：创建的倒角沿左邻接曲面距选定边的距离，并且与该面指定一角度。
- ◆ **Right-Angle** 选项：创建的倒角沿右邻接曲面距选定边的距离，并且与该面指定一角度。

3.3.7 抽壳/曲面

抽壳/曲面 (Thin/Surface) 可以实现三种操作。

- ◆ 移除面抽壳。将实体的一个或几个表面移除，形成壁厚均匀的壳体。
- ◆ 提取实体表面。将实体模型的某一个表面抽取出来，形成一定厚度的特征。
- ◆ 体抽壳。将整个实体进行抽壳，不移除面。

下面分别介绍其操作过程。

1. 抽壳

下面以图 3.3.41 所示的模型为例，说明抽壳操作的一般过程。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.07\thin-surface-01.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Thin/Surface** 命令，弹出图 3.3.42 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义抽取类型。在 **Selection Type** 下拉列表中选择 **Faces to Remove** 选项。

步骤 04 选取要移除的面。在对话框中的 **Geometry** 文本框后单击，选取图 3.3.41a 所示的模型表面为要移除的面，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义抽壳厚度。在对话框的 **FD1, Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 1。

步骤 06 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。



图 3.3.42 所示的 “Details of Thin1” 对话框的 **Direction** 下拉列表用于定义厚度方向，模式中有三种类型。

- ◆ **Inward** 选项：向内加厚。
- ◆ **Outward** 选项：向外加厚。
- ◆ **Mid-Plane** 选项：向两侧对称加厚。

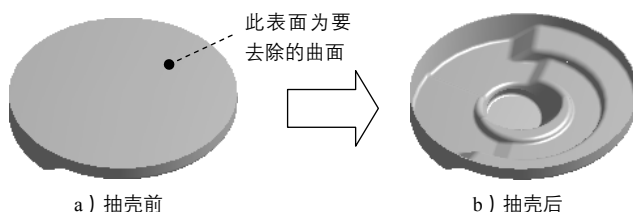


图 3.3.41 抽壳特征

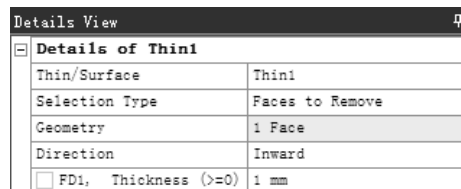


图 3.3.42 “Details View” 对话框

2. 抽取面

下面以图 3.3.43 所示的模型为例，说明抽取面操作的一般过程。

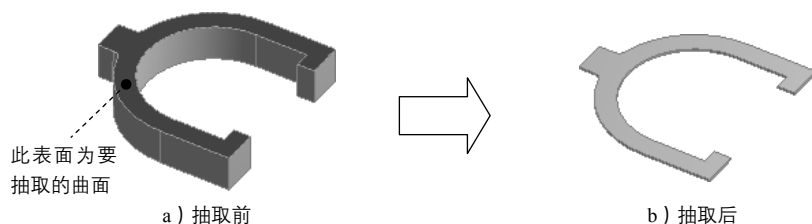


图 3.3.43 创建抽取面

- 步骤 01** 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.07\thin-surface-02.wbpj”。
- 步骤 02** 选择命令。选择 **Create** \rightarrow **Thin/Surface** 命令，弹出 “Details View” 对话框。
- 步骤 03** 定义抽取类型。在 **Selection Type** 下拉列表中选择 **Faces to Keep** 选项。
- 步骤 04** 定义要保留的对象。在对话框中的 **Geometry** 文本框后单击，选取图 3.3.43a 所示的模型表面为要保留的面，单击 **Apply** 按钮确认。
- 步骤 05** 定义厚度。在对话框的 **FD1, Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 0.5。
- 步骤 06** 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

3. 体抽壳

下面以图 3.3.44 所示的模型为例，说明体抽壳操作的一般过程。

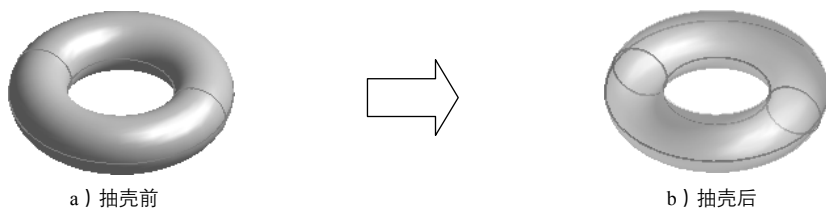


图 3.3.44 体抽壳

- 步骤 01** 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.07\thin-surface-03.wbpj”。
- 步骤 02** 选择命令。选择 **Create** \rightarrow **Thin/Surface** 命令，弹出 “Details View” 对话框。
- 步骤 03** 定义抽取类型。在 **Selection Type** 下拉列表中选择 **Bodies Only** 选项。
- 步骤 04** 定义对象。在对话框中的 **Geometry** 文本框后单击，选取整个模型为对象，单击 **Apply** 按钮确认。
- 步骤 05** 定义厚度。在对话框的 **FD1, Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 1.0。
- 步骤 06** 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

3.3.8 扫描

扫描特征是将一个轮廓沿着给定的轨迹曲线“扫掠”而生成的，如图 3.3.45 所示。要创建或重新定义一个扫描特征，必须给定两个要素（轨迹曲线和轮廓）。

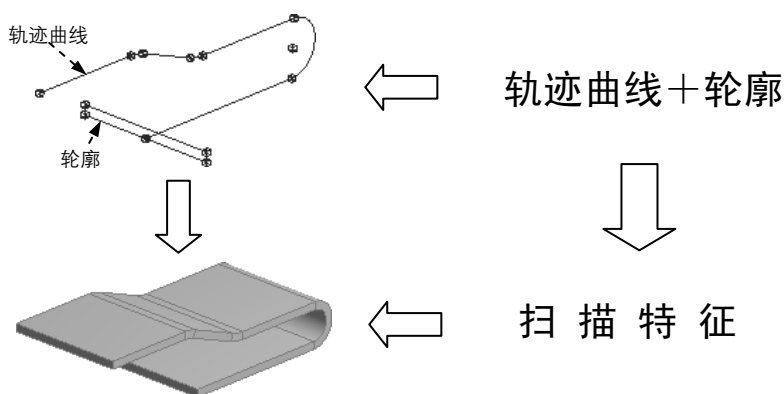


图 3.3.45 扫描特征

下面以图 3.3.45 所示的模型为例，说明创建扫描特征的一般过程。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.08\sweep.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Sweep** 命令，弹出图 3.3.46 所示的 “Details View” 对话框。

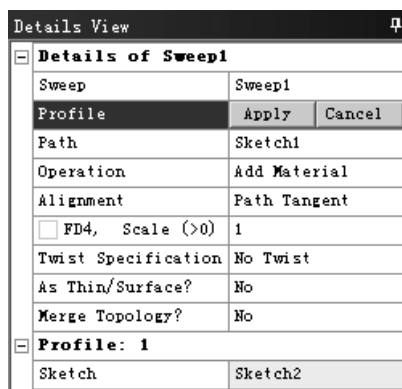


图 3.3.46 “Details View” 对话框

步骤 03 选择轨迹曲线和轮廓。选取 Sketch2 为轮廓，单击 **Apply** 按钮确认；单击以激活 **Path** 后的文本框，选取 Sketch1 为轨迹曲线，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成特征的创建。

3.3.9 混合

将一组不同的截面沿其边线用过渡曲面连接，形成一个连续的特征，就是混合特征。混合特征至少需要两个截面。图 3.3.47 所示的混合特征是由两个截面混合而成的。注意：这两个截面是在不同的草绘平面上绘制的。

下面以图 3.3.47 所示的模型为例，说明创建混合特征的一般过程。

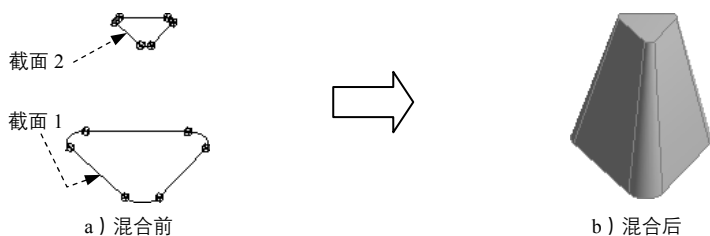


图 3.3.47 混合特征

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.03.09\skin-loft.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Skin/Loft** 命令,弹出图 3.3.48 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 选择截面轮廓。在系统提示下,按住 Ctrl 键,选取 Sketch1 和 Sketch2 作为混合特征的截面轮廓,并在 **Profiles** 后单击 **Apply** 按钮确认。

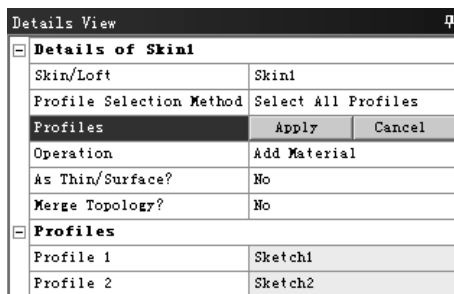


图 3.3.48 “Details View”对话框

步骤 04 单击 **Generate** 按钮,完成特征的创建。

3.4 几何体操作 (基础)

3.4.1 阵列

使用阵列操作可以对某一体对象进行一定规律的复制,用于创建一个体的多个副本。阵列操作包括线性阵列、圆形阵列和矩形阵列三种,下面将分别介绍其操作过程。

1. 线性阵列

下面介绍图 3.4.1 所示的螺栓的线性阵列的操作过程。

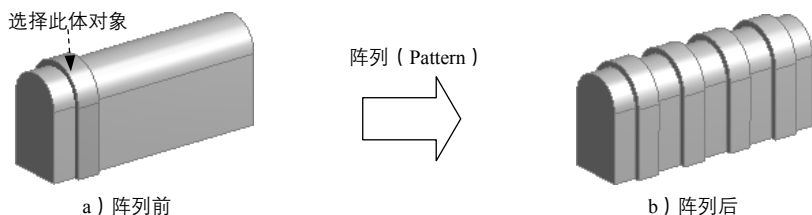


图 3.4.1 创建线性阵列

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.01\linear-pattern.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create**  **Pattern** 命令；弹出图 3.4.2 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义阵列类型。在 **Pattern Type** 下拉列表中选择 **Linear** 选项。

步骤 04 选取阵列对象。单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 3.4.1a 所示的体对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义阵列方向。单击以激活 **Direction** 后的文本框，选取图 3.4.3 所示的实体边线为参照方向，调整箭头方向如图 3.4.3 所示，并单击 **Apply** 按钮确认。

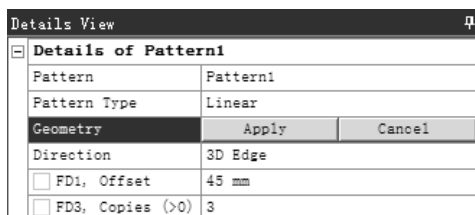


图 3.4.2 “Details View” 对话框

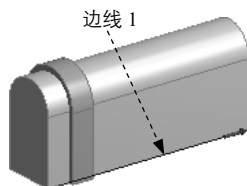


图 3.4.3 定义阵列方向

步骤 06 定义阵列参数。在 **FD1, Offset** 文本框输入数值 45，在 **FD3, Copies (>0)** 文本框输入数值 3。

步骤 07 单击 **Generate** 按钮，完成线性阵列的操作。

2. 圆形阵列

下面介绍图 3.4.4 所示的螺栓的圆形阵列的操作过程。

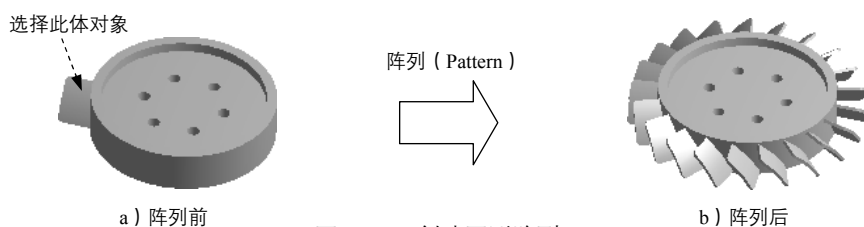


图 3.4.4 创建圆形阵列

步骤 01 打开文件 D:\ansc14.0\work\ch03.04.01\circular-pattern.wbpj。

步骤 02 选择命令。选择 **Create**  **Pattern** 命令；弹出图 3.4.5 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义阵列类型。在 **Pattern Type** 下拉列表中选择 **Circular** 选项。

步骤 04 选取阵列对象。单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 3.4.4a 所示的体对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义阵列参数。

(1) 选择轴参考元素。单击以激活 **Axis** 文本框, 选取图 3.4.6 所示的轴线为参考元素, 单击 **Apply** 按钮确认。

(2) 定义参数。在 **FD2, Angle** 文本框中输入圆形阵列角度数值, 此处采用系统默认设置, 在 **FD3, Copies (>0)** 文本框中输入数值 20。



一般情况下, 系统坐标系是不会显示出来的, 可以通过单击 “Tree Outline” 区域 XYPlane、ZXPlane 或 YZPlane 的图标将坐标系显示出来。

步骤 06 单击 **Generate** 按钮, 完成圆形阵列的操作。

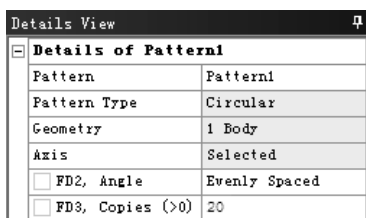


图 3.4.5 “Details View” 对话框

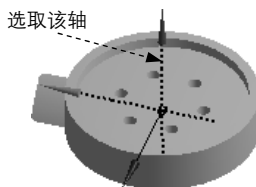


图 3.4.6 定义轴参考

3. 矩形阵列

下以图 3.4.7 所示的模型为例来介绍矩形阵列操作的一般过程。

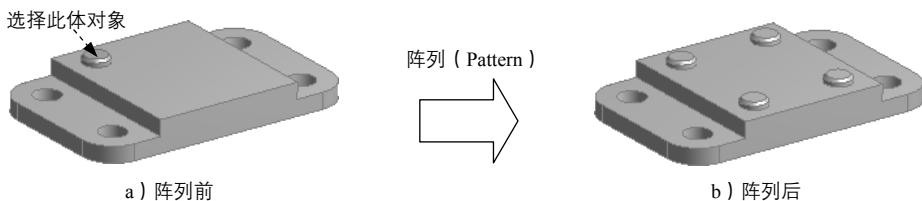


图 3.4.7 创建矩形阵列

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.01\rectangular-pattern.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Pattern** 命令; 弹出图 3.4.8 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义阵列类型。在 **Pattern Type** 下拉列表中选择 **Rectangular** 选项。

步骤 04 选取阵列对象。单击以激活 **Geometry** 后的文本框, 选取图 3.4.7a 所示的体对象, 单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义阵列参数。

(1) 定义第一方向参考元素。单击以激活 **Direction** 后的文本框, 选取图 3.4.9 所示的实体边

线为参照方向，调整箭头方向如图 3.4.9 所示，并单击 **Apply** 按钮确认。

(2) 定义第一方向参数。在 **FD1, Offset** 文本框中输入阵列间距数值 34；在 **FD3, Copies (>0)** 文本框中输入阵列副本数 1。

(3) 定义第二方向参考元素。单击以激活 **Direction 2** 后的文本框，选取图 3.4.10 所示的实体边线为参照方向，调整箭头方向如图 3.4.10 所示，并单击 **Apply** 按钮确认。

(4) 定义第二方向参数。在 **FD4, Offset 2** 文本框中输入阵列间距数值 40；在 **FD5, Copies 2 (>0)** 文本框中输入阵列副本数 1。

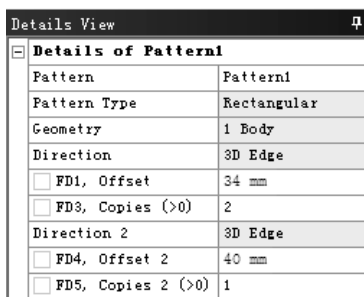


图 3.4.8 “Details View” 对话框

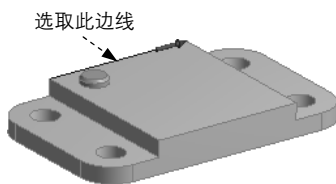


图 3.4.9 定义第一方向

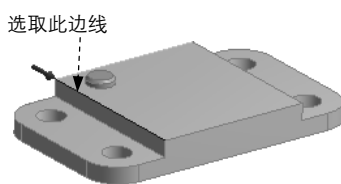


图 3.4.10 定义第二方向

步骤 06 单击 **Generate** 按钮，完成矩形阵列的操作。

3.4.2 体操作

使用体操作工具，可以对实体对象进行多种变换操作，包括镜像、移动、删除、缩放、缝合、简化、平移变换、旋转变换、切除材料、印贴面和分割材料等。下面具体介绍其中比较常用的一些体操作。

需要注意的是，在进行体操作后，系统将所有体进行合并。

1. 镜像体操作

使用镜像体操作可以将选定的体对象沿着某一平面镜像，得到一镜像体。需要注意的是，镜像前各个体是互相独立的，镜像操作后，所有体合并成一个体。下面以图 3.4.11 所示的模型为例，介绍镜像操作的一般过程。

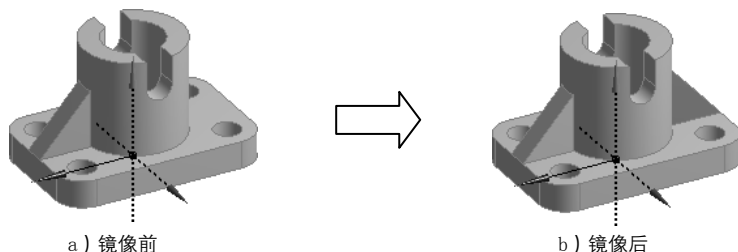


图 3.4.11 镜像体操作

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.02\mirror.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Body Operation** 命令，弹出图 3.4.12 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义体操作类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Mirror** 选项。

步骤 04 选取操作对象。单击以激活 **Bodies** 后的文本框，选取图 3.4.13 所示的体，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义镜像平面。单击以激活 **Mirror Plane** 后的文本框，选取 YZ 平面为镜像平面，单击 **Mirror Plane** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

步骤 06 单击 **Generate** 按钮，完成镜像体操作，结果如图 3.4.11b 所示。

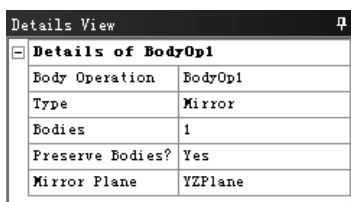


图 3.4.12 “Details View” 对话框

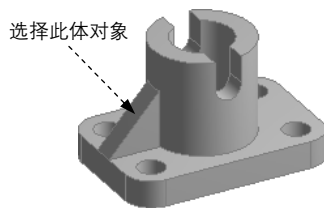


图 3.4.13 选取体对象

图 3.4.12 所示的 “Details View” 对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Type** 下拉列表：用于设置体操作类型，主要包括以下十一种类型。
 - **Mirror**（镜像）选项：选中该选项，将选中的体对象沿一个平面进行镜像操作。
 - **Move**（移动）选项：选中该选项，将选中的体对象从一个参照平面移动到另外一个参照平面。
 - **Delete**（删除）选项：选中该选项，将选中的体对象删除。
 - **Scale**（缩放）选项：选中该选项，对选中的体对象进行比例缩放操作。
 - **Sew**（缝合）选项：选中该选项，对选中的面体对象进行缝合操作。
 - **Simplify**（简化）选项：选中该选项，对选中的几何体进行几何简化或进行拓扑简化操作。
 - **Translate**（平移）选项：选中该选项，对选中的体对象进行平移变换操作。
 - **Rotate**（旋转）选项：选中该选项，对选中的体对象进行旋转变换操作。
 - **Cut Material**（切材料）选项：选中该选项，将选中的体对象从其他几何体中切除，类似于布尔操作中的布尔求差操作。
 - **Imprint Faces**（印贴面）选项：选中该选项，在选中的几何体与其他几何体相

接触的部位创建印贴操作。

- **Slice Material** (分割材料) 选项: 选中该选项, 将选中的几何体与其他几何体分割。实现分割后, 选中的几何体被删除。

2. 缩放操作

模型的缩放就是将源模型相对一个参考点进行缩放, 从而改变源模型的大小。下面以图 3.4.14 所示的模型为例来介绍缩放操作的一般过程。

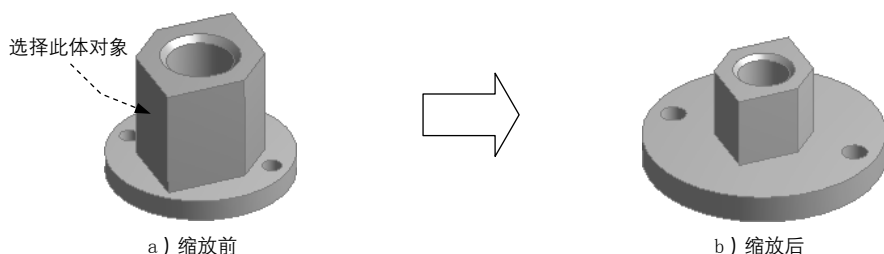



图 3.4.14 模型的缩放

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.02\scale.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择下拉菜单 **Create**  **Body Operation** 命令, 弹出图 3.4.15 所示的 “Details View” 对话框。

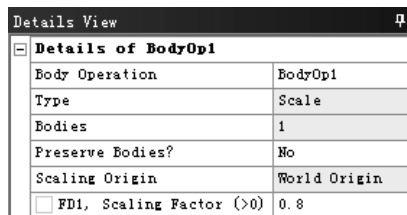



图 3.4.15 “Details View” 对话框

步骤 03 定义体操作类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Scale** 选项。

步骤 04 选取操作对象。单击以激活 **Bodies** 后的文本框, 选取图 3.4.14a 所示的体对象, 单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义缩放比例。单击以激活 **FD1, Scaling Factor (>0)** 后的文本框, 输入缩放比例数值 0.6。

步骤 06 单击  **Generate** 按钮, 完成缩放的操作, 结果如图 3.4.14b 所示。

3. 平移操作

平移操作是将模型沿着指定方向移动到指定距离的操作。下面以图 3.4.16 所示的模型为例来介绍平移操作的一般过程。

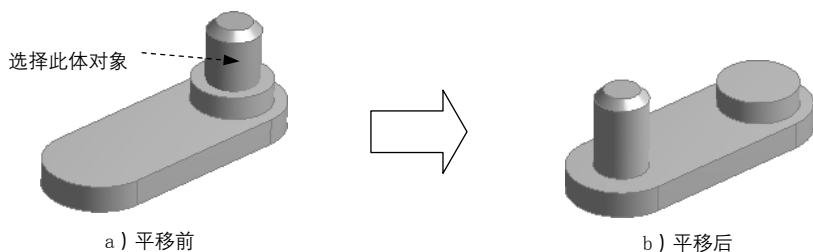


图 3.4.16 平移操作

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.02\translate.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create**  **Body Operation** 命令，弹出图 3.4.17 所示的 “Details View” 对话框。

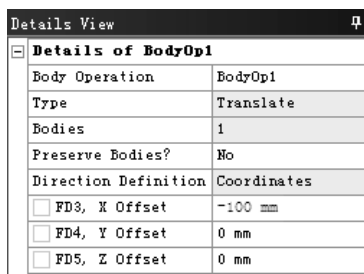



图 3.4.17 “Details View” 对话框

步骤 03 定义体操作类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Translate** 选项。

步骤 04 选取操作对象。单击以激活 **Bodies** 后的文本框，选取图 3.4.16a 所示的体对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义平移类型和参数。在 **Direction Definition** 下拉列表中选择 **Coordinates** 选项，在 **FD3, X Offset** 文本框中输入数值 -100，在 **FD4, Y Offset** 文本框中输入数值 0，在 **FD5, Z Offset** 文本框中输入数值 0。

步骤 06 单击  **Generate** 按钮，完成平移操作，结果如图 3.4.16b 所示。

4. 旋转操作

旋转操作就是将模型绕轴线旋转到新位置。下面以图 3.4.18 所示的模型为例来介绍旋转操作的一般过程。

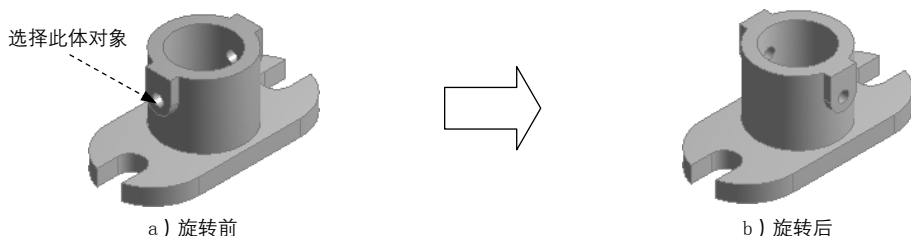



图 3.4.18 旋转操作

步骤 01 打开文件 “D:\ans14.0\work\ch03.04.02\rotate.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create**  **Body Operation** 命令，弹出图 3.4.19 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义体操作类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Rotate** 选项。

步骤 04 选取操作对象。单击以激活 **Bodies** 后的文本框，选取图 3.4.18a 所示的体对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 定义旋转轴。在 **Axis Definition** 下拉列表中选择 **Components** 选项，在 **FD6, X Component** 文本框中输入数值 0，在 **FD7, Y Component** 文本框中输入数值 0，在 **FD8, Z Component** 文本框中输入数值 1。

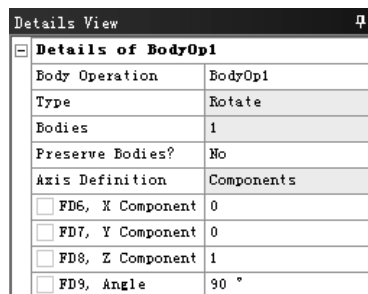


图 3.4.19 “Details View” 对话框

步骤 06 定义旋转角度。在 **FD9, Angle** 文本框中输入数值 90。

步骤 07 单击 **Generate** 按钮，完成旋转操作，结果如图 3.4.19b 所示。

3.4.3 布尔运算

布尔操作可以对两个或两个以上独立实体（包括冻结体）进行求和、求差、求交及粘贴运算，可以将多个独立的实体进行运算以产生新的实体。进行布尔运算时，首先选择目标体（即被执行布尔运算的实体，只能选择一个），然后选择工具体（即在目标体上执行操作的实体，可以选择多个），运算完成后工具体成为目标体的一部分，如果目标体和工具体具有不同的颜色、线型等属性，产生的新实体具有与目标体相同的属性。布尔操作主要包括以下几部分内容：

- ◆ 布尔求和操作。
- ◆ 布尔求差操作。
- ◆ 布尔求交操作。

1. 布尔求和

布尔求和操作用于将工具体和目标体合并成一体。下面以图 3.4.20 所示的模型为例来介绍

布尔求和操作的一般过程。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.03\unite.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Boolean** 命令，弹出图 3.4.21 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义布尔运算类型。在 **Operation** 下拉列表中选择 **Unite** 选项。

步骤 04 选取布尔操作对象。单击以激活 **Tool Bodies** 后的文本框，按住 Ctrl 键，选取拉伸体和回转体为操作对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 单击 **Generate** 按钮，完成布尔求和操作，结果如图 3.4.20b 所示。

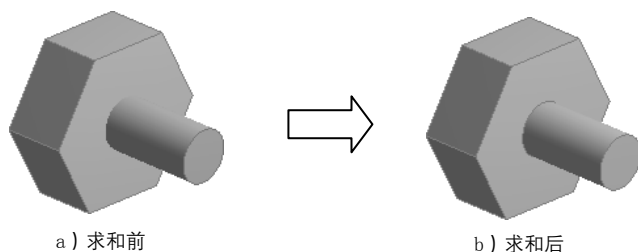


图 3.4.20 布尔求和操作

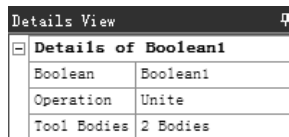


图 3.4.21 “Details View” 对话框

2. 布尔求差

布尔求差操作用于将工具体从目标体中移除。下面以图 3.4.22 所示的模型为例来介绍布尔求差操作的一般过程。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.03\subtract.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** → **Boolean** 命令，弹出图 3.4.23 所示的 “Details View” 对话框。

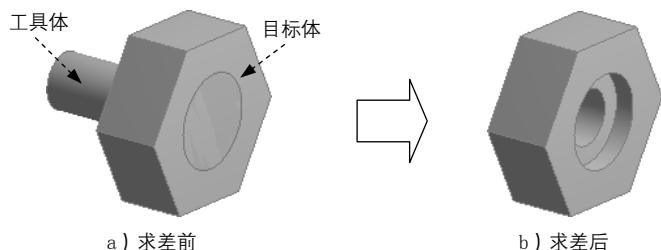


图 3.4.22 布尔求差操作

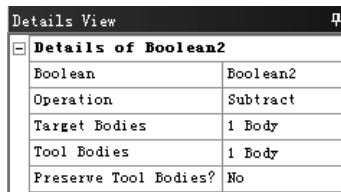


图 3.4.23 “Details View” 对话框

步骤 03 定义布尔运算类型。在 **Operation** 下拉列表中选择 **Subtract** 选项。

步骤 04 定义目标体。单击以激活 **Target Bodies** 后的文本框，选取拉伸体为目标体，单击

Apply 按钮确认。

步骤 05 定义工具体。单击以激活 **Tool Bodies** 后的文本框，选取回转体为工具体，单击

Apply 按钮确认。

步骤 06 单击 **Generate** 按钮，完成布尔求差操作，结果如图 3.4.22b 所示。

3. 布尔求交

布尔求交操作用于创建包含两个不同实体的共有部分。进行布尔求交运算时，工具体与目标体必须相交。下面以图 3.4.24 所示的模型为例来介绍布尔求交操作的一般过程。

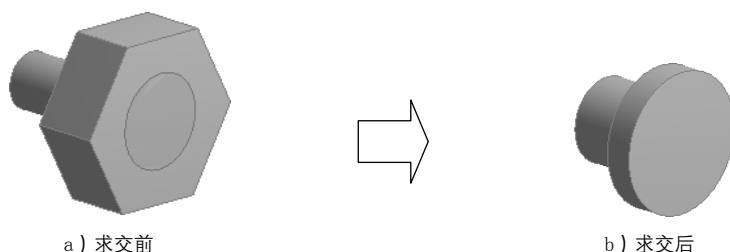


图 3.4.24 布尔求交操作

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.03\intersect.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Create** **Boolean** 命令，弹出图 3.4.25 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 定义布尔运算类型。在 **Operation** 下拉列表中选择 **Intersect** 选项。

步骤 04 选取布尔操作对象。单击以激活 **Tool Bodies** 后的文本框，按住 Ctrl 键，选取拉伸体和回转体为操作对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 05 单击 **Generate** 按钮，完成布尔求交操作。

步骤 06 创建解冻。选择 **Tools** **Unfreeze** 命令，在图形区选取整个实体为解冻对象，单击 **Apply** 按钮确认，单击 **Generate** 按钮，完成对布尔求交结果的解冻，结果如图 3.4.24b 所示。

图 3.4.25 所示的 “Details View” 对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Intersect Result** 下拉列表：用于设置求交结果模式，主要包括以下两种结果。
 - **Intersection of All Bodies** 选项：选中该选项，系统对所有体进行求交后再将求交结果进行求交作为最终的求交结果。本例中如果选择该选项，最终求交结果如图 3.4.26 所示。
 - **Union of All Intersections** 选项：选中该选项，系统对所有体进行求交后再将求交结果合并作为最终求交结果。

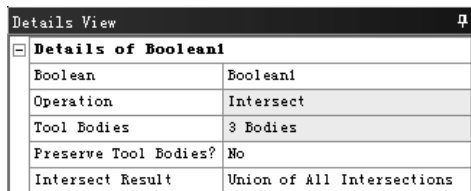


图 3.4.25 “Details View” 对话框

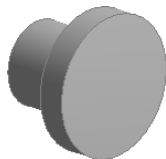


图 3.4.26 求交结果

3.4.4 删除面

删除面通常用于删除模型中的一些不需要的细小特征，如圆角、倒角、小孔等，这样可以加快模型网格化的速度，同时不会对分析结果产生影响。以图 3.4.27 所示的模型为例，介绍删除面的一般操作过程。

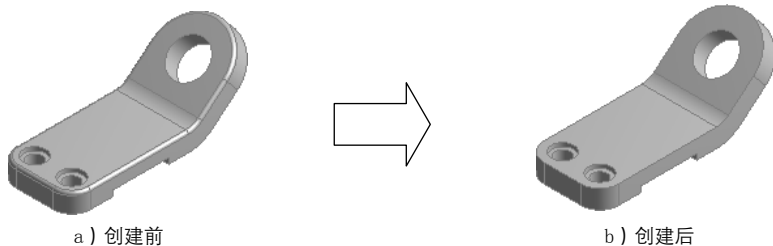


图 3.4.27 删除面

步骤01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.04.04\face-delete.wbpj”。

步骤02 选择命令。选择 **Create** → **Face Delete** 命令，弹出图 3.4.28 所示的 “Details View” 对话框。

步骤03 定义要删除的面。在模型中选取图 3.4.29a 所示的圆角面，然后在 “选择过滤器” 工具条中单击 按钮，在弹出的下拉列表中选择 **Flood Blends** 选项，此时与所选择的圆角面相连的圆角面被选中（图 3.4.29b）。

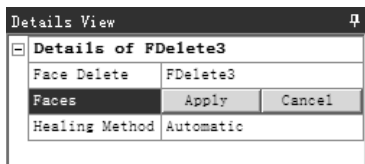


图 3.4.28 “Details View” 对话框

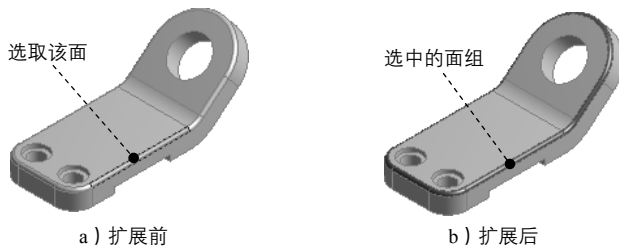


图 3.4.29 定义要删除的面

步骤04 单击 **Generate** 按钮，完成删除面的操作。

3.5 几何体操作（高级）

3.5.1 冻结与解冻

使用冻结工具可以将某个体对象冻结，冻结后的体与其他实体之间互相独立，不能进行常规的加材料与减材料操作，但可以进行布尔运算与体操作；使用解冻工具可以将冻结体解冻，一旦解冻，该解冻体会与之前的非冻结体“合并”成一个整体。下面具体介绍冻结与解冻的相关操作。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.05.01\freeze-unfreeze.wbpj”，如图 3.5.1 所示。



图 3.5.1 所示的文件包括一个一般实体和一个冻结体，它们不属于同一类实体，在“Tree Outline”窗口中的 **2 Parts, 2 Bodies** 节点下显示两个“Solid”（图 3.5.2）。

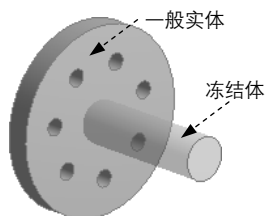


图 3.5.1 所打开的文件

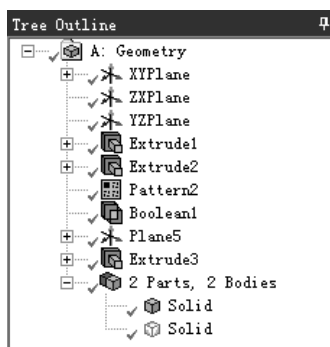


图 3.5.2 “Tree Outline”窗口

步骤 02 创建冻结体。选择 **Tools** → **Freeze** 命令，弹出图 3.5.3 所示的“Details View”对话框，系统自动将模型中的一般实体冻结，结果如图 3.5.4 所示。

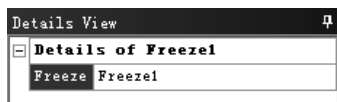


图 3.5.3 “Details View”对话框

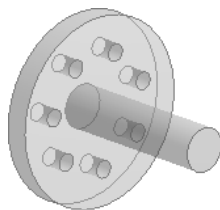


图 3.5.4 创建冻结



使用冻结工具，系统将图形区中所有实体冻结，在“Tree Outline”窗口中的 **2 Parts, 2 Bodies** 节点下显示两个冻结“Solid”。

步骤03 创建解冻(一)。选择 **Tools** → **Unfreeze** 命令,弹出图 3.5.5 所示的“Details View”对话框,选取圆柱体为解冻对象,单击 **Apply** 按钮,单击 **Generate** 按钮,完成对圆柱体的解冻,结果如图 3.5.6 所示。

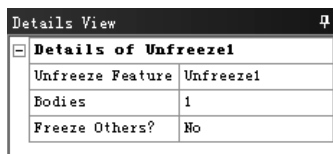


图 3.5.5 “Details View”对话框

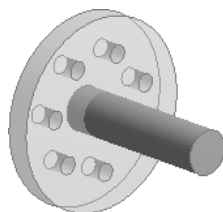


图 3.5.6 创建解冻

步骤04 创建解冻(二)。选择 **Tools** → **Unfreeze** 命令,选取圆盘体为解冻对象,单击 **Apply** 按钮,单击 **Generate** 按钮,完成对圆盘体的解冻,结果如图 3.5.7 所示,此时在“Tree Outline”窗口中的 **2 Parts, 2 Bodies** 节点下显示一个“Solid”。

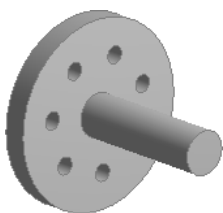


图 3.5.7 解冻圆盘体

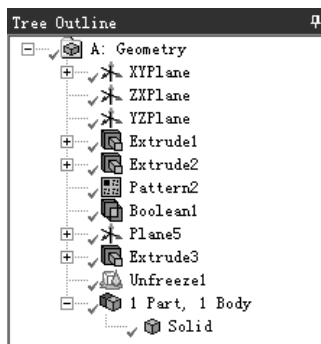


图 3.5.8 “Tree Outline”窗口

3.5.2 提取中面

提取中面就是提取几何体中间曲面,以后在分析中将以壳单元划分网格,提取中面是进行壳分析的一步重要操作。下面以图 3.5.9 所示的模型为例介绍提取中面的操作过程。

步骤01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.05.02\mid-surface.wbpj”。

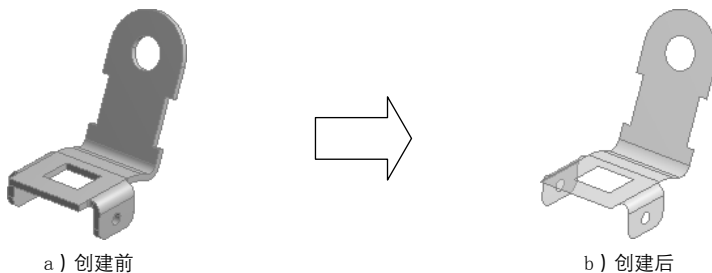


图 3.5.9 提取中面

步骤 02 选择命令。选择 **Tools** \rightarrow **Mid-Surface** 命令，弹出图 3.5.10 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 定义面对 1。按住 Ctrl 键，在模型中依次选取图 3.5.11 所示的曲面 1 和曲面 2。



所选择的曲面 1 和曲面 2 为零件模型中相对应的两个面。

步骤 04 定义其余面对。参照上一步的操作方法，按住 Ctrl 键，在模型中依次选取其余的曲面对（具体选择操作参看视频录像），然后在“Details View”对话框中单击 **Apply** 按钮。

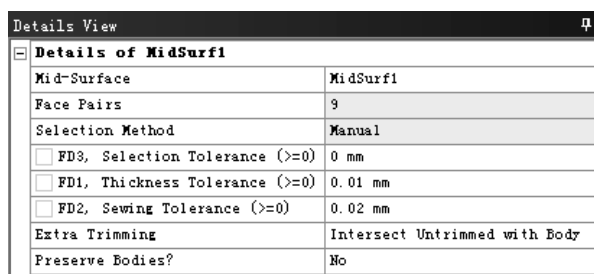


图 3.5.10 “Details View”对话框

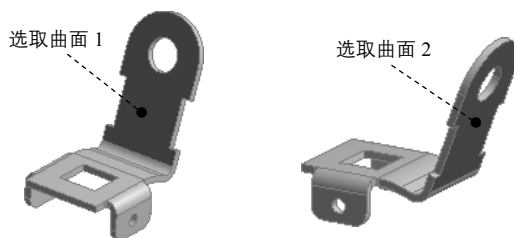


图 3.5.11 定义面对 1

步骤 05 单击 **Generate** 按钮，完成提取中面的操作，结果如图 3.5.9b 所示。

3.5.3 对称

对于对称结构的零件，在分析过程中，为了减小网格划分工作量及减少求解时间，从而提高分析效率，一般进行对称处理，就是使用一个平面将对称结构进行对称剖切，取其一部分进行分析，下面以图 3.5.10 所示的模型为例介绍对称操作的一般过程。

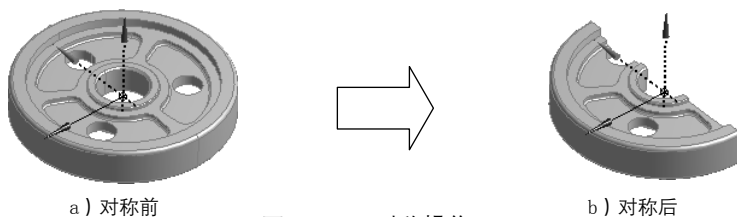


图 3.5.10 对称操作

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.05.03\symmetry.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Tools** \rightarrow **Symmetry** 命令；弹出图 3.5.11 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 定义对称平面。选取 **XYPlane** 平面为对称平面，并单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 其他选项采用系统默认设置，单击 **Generate** 按钮，完成对称操作。

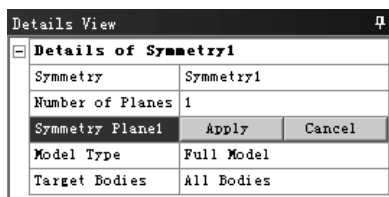


图 3.5.11 “Details View” 对话框

3.5.4 延伸曲面

延伸曲面用于将曲面沿某一个边缘延伸一定的距离。下面以图 3.5.12 所示的模型为例，介绍延伸曲面的一般操作过程。

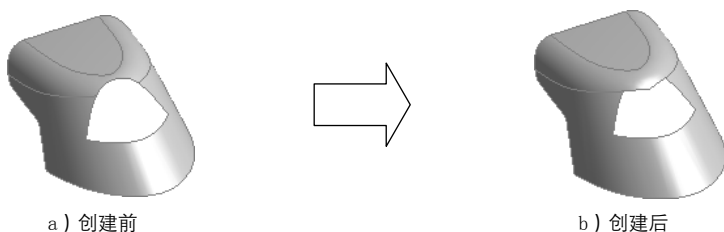


图 3.5.12 延伸曲面

步骤 01 打开文件 D:\ansc14.0\work\ch03.05.04\extension.wbpj。

步骤 02 选择命令。选择 **Tools** → **Surface Extension** 命令，系统弹出图 3.5.13 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 定义要延伸的边。在模型中选取图 3.5.14 所示的边线，在“Details View”对话框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成延伸面的操作，结果如图 3.5.15 所示。

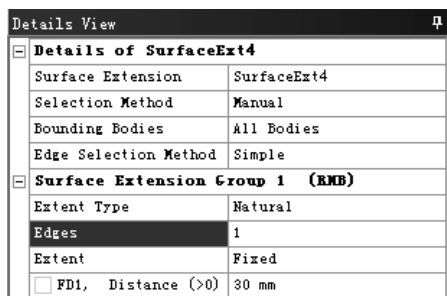


图 3.5.13 “Details View” 对话框

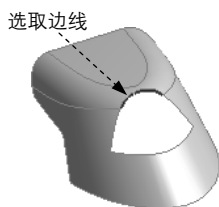


图 3.5.14 定义要延伸的边



图 3.5.15 延伸结果 1

步骤 05 选择命令。选择 **Tools** → **Surface Extension** 命令，弹出“Details View”对话框。

步骤 06 定义要延伸的边。在模型中选取图 3.5.16 所示的边线，在“Details View”对话框



中单击 **Apply** 按钮。

步骤 07 单击 **Generate** 按钮，完成延伸面的操作，结果如图 3.5.17 所示。

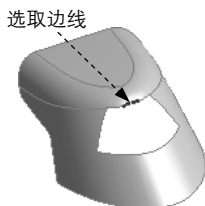


图 3.5.16 定义要延伸的边

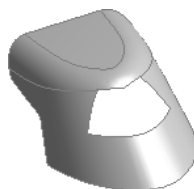


图 3.5.17 延伸结果 2

步骤 08 选择命令。选择 **Tools** → **Surface Extension** 命令，弹出“Details View”对话框。

步骤 09 定义要延伸的边。按住 Ctrl 键，在模型中选取图 3.5.18 所示的边线，在“Details View”对话框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 10 定义延伸距离。在“Details View”对话框中的 **FD1, Distance (>0)** 文本框中输入数值 15 并按下 Enter 键。

步骤 11 单击 **Generate** 按钮，完成延伸面的操作，结果如图 3.5.19 所示。

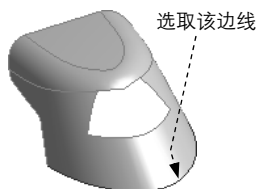


图 3.5.18 定义要延伸的边

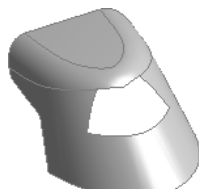


图 3.5.19 延伸结果 3

3.5.5 修补曲面

修补曲面通常用于将曲面中的小孔、缝隙等进行填充，通过选取孔的封闭边缘来完成该操作。对于一些较为复杂的孔洞，可能需要经过多次修补才能得到较好的结果。下面以图 3.5.20 所示的模型为例，介绍修补曲面的一般操作过程。

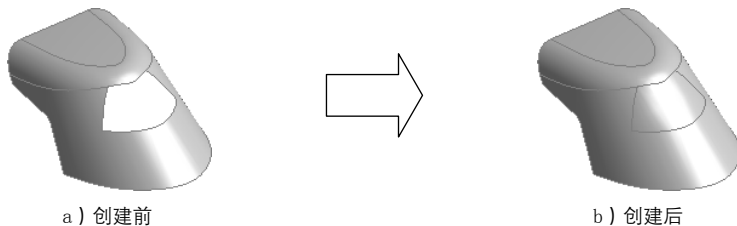


图 3.5.20 修补曲面

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.05.05\surf-patch.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Tools** → **Surface Patch** 命令，弹出图 3.5.21 所示的“Details

View”对话框。

步骤 03 定义修补边界。按住 Ctrl 键，在模型中依次选取图 3.5.22 所示的边线，在“Details View”对话框中单击 **Apply** 按钮。

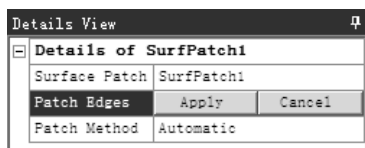


图 3.5.21 “Details View”对话框

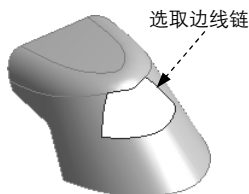


图 3.5.22 定义修补边界

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成曲面修补操作，结果如图 3.5.20b 所示。

3.5.6 合并曲面

合并曲面命令用于合并一组面或边线，这样可以减少网格化的复杂性。下面以图 3.5.23 所示的模型为例，介绍合并曲面的一般操作过程。

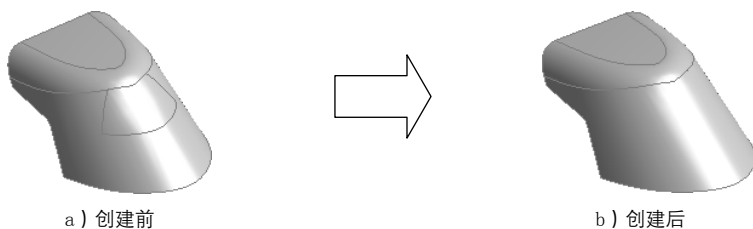


图 3.5.23 合并曲面

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.05.06\merge.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Tools** → **Merge** 命令，弹出图 3.5.24 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 定义合并类型。在“Details View”对话框中的 **Merge Type** 下拉列表中选择 **Faces** 选项。

步骤 04 定义合并对象。按住 Ctrl 键，在模型中依次选取图 3.5.25 所示的曲面，在“Details View”对话框中单击 **Apply** 按钮。

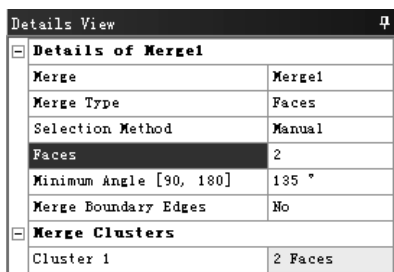


图 3.5.24 “Details View”对话框

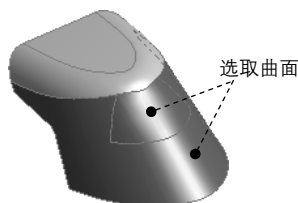


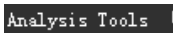


图 3.5.25 定义合并对象

步骤 05 单击  按钮，完成合并曲面操作，结果如图 3.5.23b 所示。

3.6 常用分析工具

使用分析工具可以检查几何体的相关信息，选择   命令，弹出图 3.6.1 所示的子菜单，选择子菜单中的命令可以检查几何体的相关信息。下面分别介绍使用分析工具进行几何体检查的操作过程。

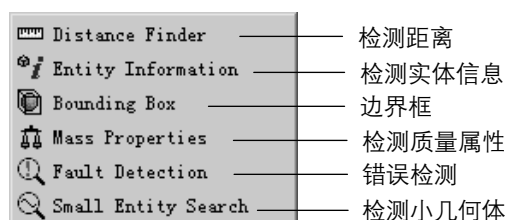

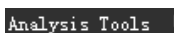



图 3.6.1 分析工具子菜单

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.06\analysis-tool.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择    命令，弹出图 3.6.2 所示的 “Details View” 对话框。

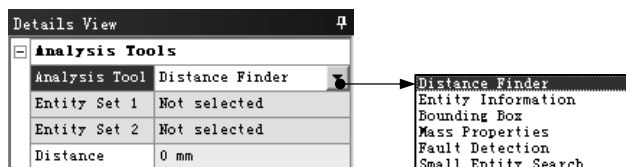


图 3.6.2 “Details View” 对话框



图 3.6.2 所示的 “Details View” 对话框的 **Analysis Tool** 下拉列表用于设置分析工具类型，此下拉列表中的各选项实际上与图 3.6.1 所示的子菜单的功能是一样的，此处不再赘述。

步骤 03 检测距离。在 **Analysis Tool** 下拉列表中选择 **Distance Finder** 选项，选取图 3.6.3 所示的两个实体表面为检测对象，分别单击 **Entity Set 1** 和 **Entity Set 2** 文本框中的  按钮确认，此时在模型和 “Details View” 对话框中显示测量结果（图 3.6.3 和图 3.6.4）。

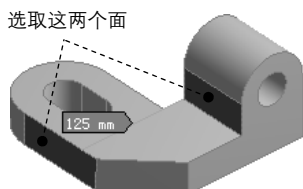


图 3.6.3 选取检测面

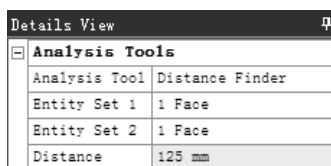


图 3.6.4 检测结果

步骤 04 检测实体信息。在 **Analysis Tool** 下拉列表中选择 **Entity Information** 选项，选取整个几何体对象，此时在“Details View”对话框中显示几何体的体积信息和表面积信息（图 3.6.5）。

步骤 05 边界框。在 **Analysis Tool** 下拉列表中选择 **Bounding Box** 选项，选取整个几何体对象，单击 **Entity Set** 文本框中的 **Apply** 按钮确认，此时在几何体上显示边界框（图 3.6.6），同时在“Details View”对话框中显示边界框尺寸（图 3.6.7）。

Details View	
Analysis Tools	
Analysis Tool	Entity Information
Entity	Body
Body Type	Solid Body
Body Volume	1.1312e+006 mm ³
Body Area	1.0532e+005 mm ²

图 3.6.5 检测实体信息

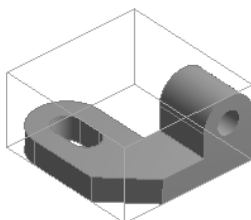


图 3.6.6 边界框

Details View	
Analysis Tools	
Analysis Tool	Bounding Box
Entity Set	1 Body
Length X	210 mm
Length Y	200 mm
Length Z	107.5 mm

图 3.6.7 边界框信息

步骤 06 检测质量属性。在 **Analysis Tool** 下拉列表中选择 **Mass Properties** 选项，选取整个几何体对象，单击 **Entity Set** 文本框中的 **Apply** 按钮确认，此时在模型上显示质量中心（图 3.6.8），同时在“Details View”对话框中显示质量属性信息（图 3.6.9）。

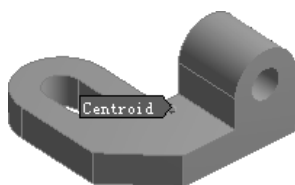


图 3.6.8 显示质量中心

Details View	
Analysis Tools	
Analysis Tool	Mass Properties
Entity Set	1 Body
Centroid X	90.351 mm
Centroid Y	57.228 mm
Centroid Z	31.113 mm

图 3.6.9 显示质量属性信息

3.7 概念建模

概念建模主要用于创建和修改线体或面体，并最终将这些体转变成有限元中的梁模型或壳模型。其中有限元分析中的梁模型只能使用概念建模来创建，壳模型既可以使用概念建模来创建，又可以从外部 CAD 中导入。

3.7.1 创建线体

使用概念建模创建的线体主要用在梁分析中，在 DM 中可以从点、草图或实体边创建线体，下面分别介绍创建线体的方法。

1. 从点生成线体

从点生成线体就是根据可选择的点对象来生成线体，用来生成线体的点可以是任意 2D 草图

点、3D 模型顶点或具有点特征的点。下面以图 3.7.1 所示的模型为例，介绍从点生成线体的操作过程。

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.07\lines-from-points.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Concept** → **Lines From Points** 命令，弹出图 3.7.2 所示的 “Details View” 对话框。

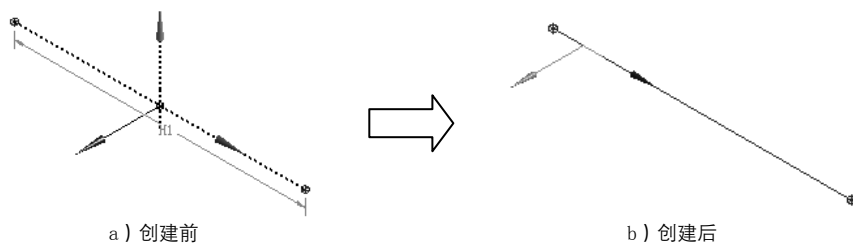


图 3.7.1 由点生成线体

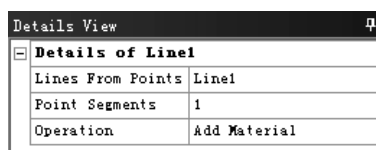


图 3.7.2 “Details View” 对话框

步骤 03 选择点对象。按住 Ctrl 键，选择直线的两个端点对象，单击 **Point Segments** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成线体创建，结果如图 3.7.1b 所示。

2. 从草图生成线体

从草图生成线体就是根据草图对象来生成线体。下面以图 3.7.3 所示的模型为例，介绍从草图生成线体的操作过程。

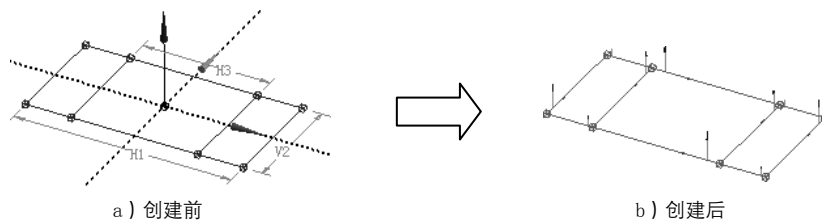


图 3.7.3 从草图生成线体

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.07\lines-from-sketches.Wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Concept** → **Lines From Sketches** 命令，弹出图 3.7.4 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 选择草图对象。在“Tree Outline”中选择 Sketch1 草图对象，单击 **Base Objects** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成线体创建，结果如图 3.7.3b 所示。

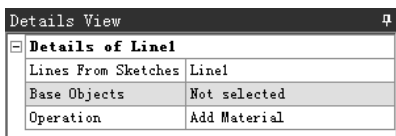


图 3.7.4 “Details View”对话框

3. 从边生成线体

从边生成线体是指利用模型的边线来生成线体。下面以图 3.7.5 所示的模型为例，介绍从边生成线体的操作过程。

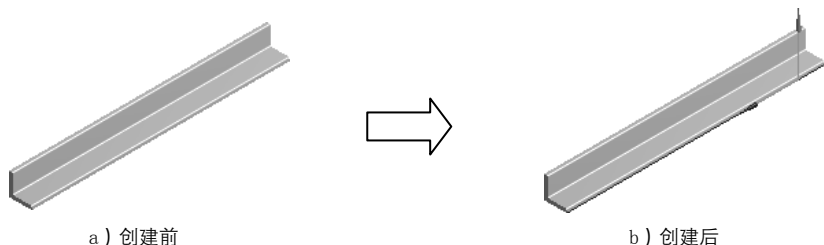


图 3.7.5 从边生成线体

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.07\lines-from-edges.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Concept** **→** **Lines From Edges** 命令，弹出图 3.7.6 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 选择边对象。选择图 3.7.7 所示的模型边线，单击 **Edges** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

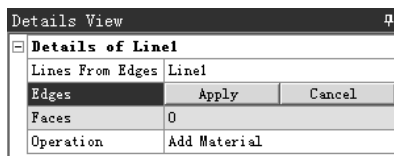


图 3.7.6 “Details View”对话框

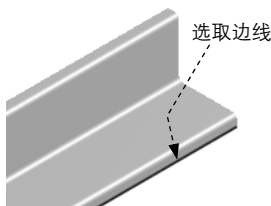


图 3.7.7 选取模型边线

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成线体创建，结果如图 3.7.5b 所示。



在“Details View”对话框中激活 **Faces** 文本框，然后可在模型中选择模型面，此时系统将以所选面的边线来创建线体。

3.7.2 创建面体

使用概念建模创建的面体主要用在壳分析中，在 DM 中可以从边、草图或实体表面创建面体，下面分别介绍创建面体的方法。

1. 从边生成面体

从边生成面体就是根据选择的边对象来生成面体。下面以图 3.7.8 所示的模型为例，介绍从边生成面体的操作过程。

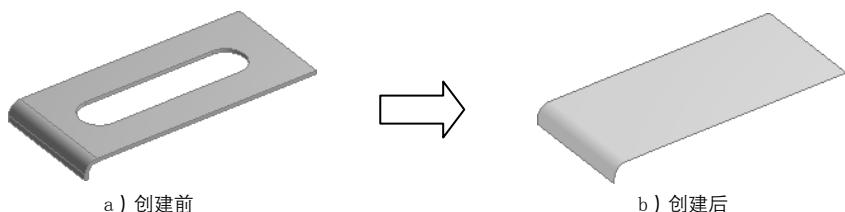


图 3.7.8 由边生成面体

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.07\surf-from-edges.wbpj”。


步骤 02 选择命令。选择 **Concept**  **Surfaces From Edges** 命令，弹出图 3.7.9 所示的“Details View”对话框。


步骤 03 选择边对象。按住 Ctrl 键，选取图 3.7.10 所示的几何体边界，单击 **Edges** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。



注意 选取边界时，必须是一个连续的封闭的环形边界链，中间不能包含其他边界链；边界链可以是平面的边界链，也可以是空间的边界链。



说明 在选择边界链时，可以使用“选择过滤器”工具条中的  **Extend to Limits** 命令，快速选取相邻并相切的边界，具体操作请参看随书光盘录像。

步骤 04 单击  **Generate** 按钮，完成面体创建，结果如图 3.7.8b 所示。

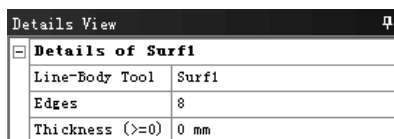


图 3.7.9 “Details View”对话框

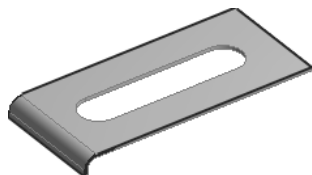


图 3.7.10 选取边界

2. 从草图生成面体

从草图生成面体就是利用已经存在的草图对象生成面体，用来生成面体的对象可以是任意草图对象。下面以图 3.7.11 所示的模型为例，介绍从草图生成面体的操作过程。

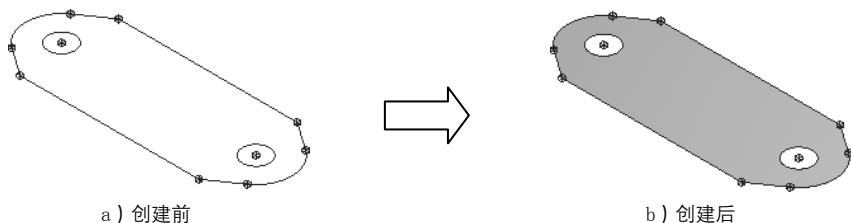



图 3.7.11 从草图生成面体

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.07\surf-from-sketches.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Concept**  **Surfaces From Sketches** 命令，弹出图 3.7.12 所示的 “Details View” 对话框。

步骤 03 选择草图对象。在 “Tree Outline” 中选择 Sketch1 草图对象，单击 **Base Objects** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

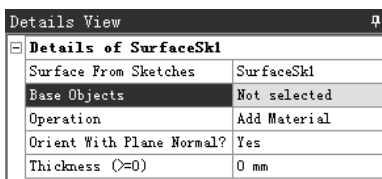


图 3.7.12 “Details View” 对话框

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成面体创建，结果如图 3.7.11b 所示。

3. 从面生成面体

从面生成面体就是根据所选择的几何体表面对象来生成面体。下面以图 3.7.13 所示的模型为例，介绍从面生成面体的操作过程。

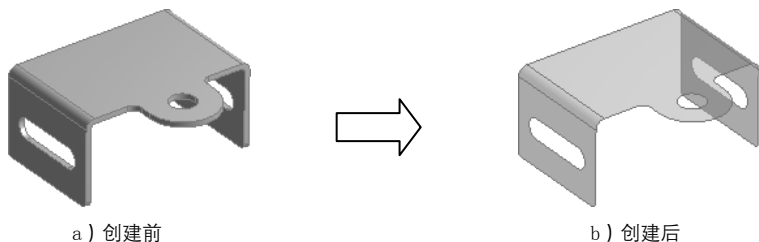




图 3.7.13 从面生成面体

步骤 01 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch03.07\surf-from-faces.wbpj”。

步骤 02 选择命令。选择 **Concept** → **Surfaces From Faces** 命令，弹出图 3.7.14 所示的“Details View”对话框。

步骤 03 选择面对象。选取图 3.7.15 所示的几何体表面，在“选择过滤器”工具栏中单击  按钮，在弹出的下拉列表中选择  **Extend to Limits** 命令，然后单击 **Faces** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。

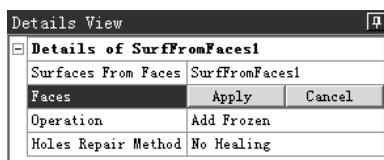


图 3.7.14 “Details View”对话框

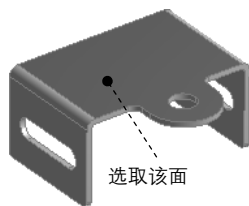



图 3.7.15 选择曲面

步骤 04 单击  **Generate** 按钮，完成面体创建，结果如图 3.7.13b 所示。

3.7.3 横截面

在有限元分析中，对于梁结构还需要定义其横截面，然后将横截面属性赋给线体特征，即可创建供有限元分析用的梁结构。选择 **Concept** → **Cross Section** 命令，弹出图 3.7.16 所示的子菜单，用于定义横截面属性，其中包含常用的横截面，也可以自定义横截面。下面以图 3.7.17 所示的梁结构建模（梁截面为空心方管）为例，介绍定义横截面及将横截面属性赋给线体的操作过程。

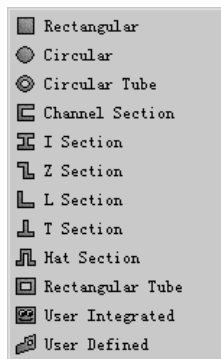


图 3.7.16 “Cross Section”子菜单

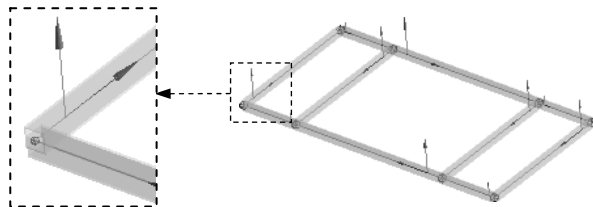


图 3.7.17 梁结构建模

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch03.07.03\cross-section.wbpj”。

步骤 02 定义截面属性。选择 **Concept** → **Cross Section** → **Rectangular Tube** 命令，弹出图 3.7.18 所示的“Details View”对话框。此时系统自动在图形区生成图 3.7.19 所示的横截面的二维草绘，修改截面尺寸值如图 3.7.18 所示。

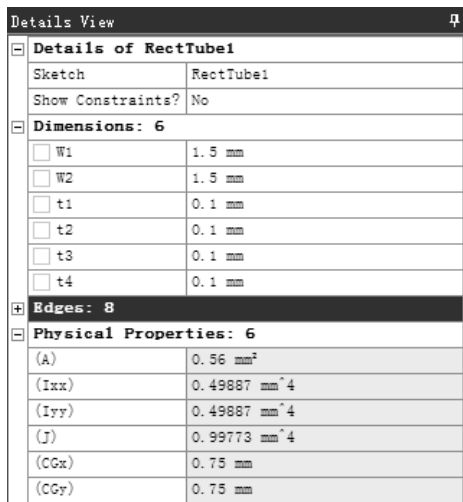


图 3.7.18 “Details View” 对话框

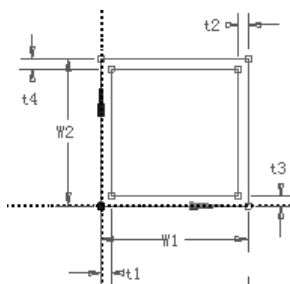


图 3.7.19 定义横截面参数



在 DM 中创建的横截面位于 XY 平面内，这一点与 MAPDL 不同，MAPDL 中的梁横截面位于 YZ 平面内。

步骤 03 将横截面属性赋给线体。在“Tree Outline”中展开 **1 Part, 1 Body** 节点，然后单击选中线体 **Line Body**，弹出图 3.7.20 所示的“Details View”对话框，在对话框中的 **Cross Section** 下拉列表中选择 **RectTube1** 选项，完成操作。

步骤 04 单击 **Generate** 按钮，完成操作，结果如图 3.7.17 所示。

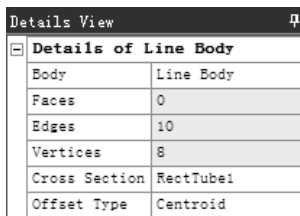


图 3.7.20 “Details View” 对话框



选择 **View** **Cross Section Solids** 命令，系统将显示赋予横截面属性后的梁结构，否则系统仅显示之前的线体样式。

3.8 几何建模综合应用一

应用概述：

本应用将介绍一个二维草图（图 3.8.1）的绘制过程，对于二维草图的绘制，一般是先绘制

二维草图的大体轮廓，然后处理草图中的几何约束，最后标注与修改草图中的尺寸，其中的难点是草图中几何约束的处理，在此需要读者认真领会，下面具体介绍图 3.8.1 所示的二维草图的绘制过程。

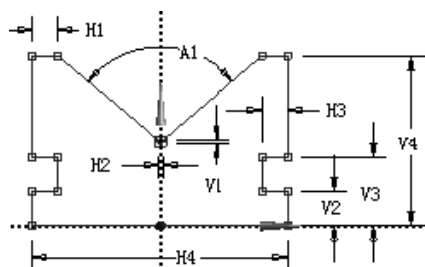


图 3.8.1 草图范例

步骤 01 新建“Geometry”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域中的 **Geometry**，即新建一个“Geometry”项目列表。

步骤 02 新建几何体。在“Geometry”项目列表中右击 **Geometry** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **New Geometry...** 命令。

步骤 03 定义建模单位。在“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项，单击 **OK** 按钮，完成建模单位的定义。

步骤 04 新建草图。在“草图绘制”工具条中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 **XYPlane** 平面为草图平面，单击工具条中的“New Sketch”按钮，系统即在选定的草图平面下新建一草图。

步骤 05 使用多段线命令创建图 3.8.2 所示的轮廓 1。在选项卡区域单击 **Sketching** 选项卡，进入草图绘制模式，在 **Sketching Toolboxes** 工具箱中单击 **Draw** 按钮，在 **Draw** 窗口下打开 **Polyline** 按钮，在项目视图区绘制图 3.8.2 所示的轮廓后右击，在弹出的快捷菜单中选取 **Closed End** 命令。



在使用多段线命令创建轮廓线时，其结束过程中选取 **Open End** 命令，用来创建开放的多段线；若选取 **Closed End** 命令，用来创建首尾相连的封闭多段线。

步骤 06 添加约束。结果如图 3.8.3 所示（具体操作请参看随书光盘录像）。

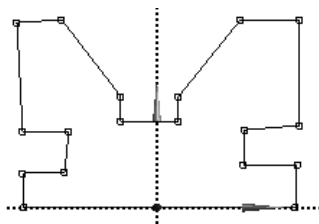


图 3.8.2 轮廓 1

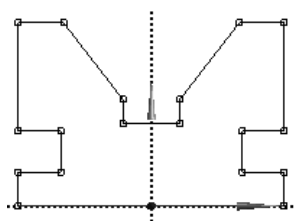


图 3.8.3 添加约束

步骤 07 标注尺寸。结果如图 3.8.4 所示（具体操作请参看随书光盘录像）。

步骤 08 修改尺寸值。结果如图 3.8.5 所示。

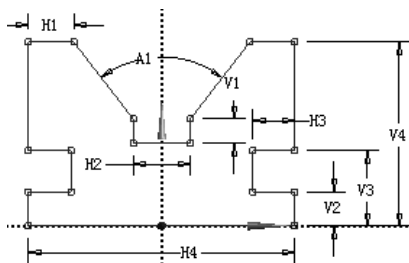


图 3.8.4 添加角度尺寸约束

Details View	
Details of Sketch1	
Sketch	Sketch1
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 9	
<input type="checkbox"/> A1	100 °
<input type="checkbox"/> H1	3 mm
<input type="checkbox"/> H2	0.5 mm
<input type="checkbox"/> H3	3 mm
<input type="checkbox"/> H4	30 mm
<input type="checkbox"/> V1	0.5 mm
<input type="checkbox"/> V2	4 mm
<input type="checkbox"/> V3	8 mm
<input type="checkbox"/> V4	20 mm

图 3.8.5 修改尺寸

步骤 09 整理尺寸。在 **Dimensions** 窗口中单击 **Move** 按钮，调整尺寸至合适的位置，完成草图绘制，单击 **Modeling** 选项卡，退出草图绘制模式。

步骤 10 保存文件。选择 **File** → **Save Project** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 sketch，单击 **保存(S)** 按钮。

3.9 几何建模综合应用二

应用概述：


本应用介绍一个支架模型的设计过程，其中主要使用了拉伸和倒圆角等命令，其模型及特征树如图 3.9.1 所示，下面具体介绍其设计过程。

步骤 01 创建项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Geometry** 选项，即创建一个“Geometry”项目列表。


步骤 02 新建几何体。在“Geometry”项目列表中右击 **Geometry ?** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **DM New Geometry...** 命令，进入建模环境，并弹出“ANSYS Workbench”对话框。

步骤 03 定义建模单位。在“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项，单击 **OK** 按钮，完成建模单位的定义。


步骤 04 创建图 3.9.2 所示的拉伸特征 1。



(1) 绘制图 3.9.3 所示的草图 1。在“草图绘制”工具条中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 XYPlane 平面为草图平面，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.9.3 所示的截面草图，其中

$H1=60$, $V2=90$, $R3=10$, $D4=9$ 。

(2) 定义拉伸属性。在工具条中单击  按钮，弹出“Details View”对话框，使用草图 1 作为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Material** 选项，在 **Direction** 下拉列表中选择 **Normal** 选项，在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 10，其他采用系统默认设置值。单击工具条中的  按钮，完成拉伸特征 1 的创建。

步骤 05 创建图 3.9.4 所示的拉伸特征 2。

(1) 绘制图 3.9.5 所示的草图 2。选择 ZXPlane 平面为草图平面，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.9.5 所示的截面草图，其中 $H1=72$, $V2=52$, $D3=48$, $D4=33$ 。

(2) 在工具条中单击  按钮，弹出“Details View”对话框，使用草图 2 作为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Material** 选项，在 **Direction** 下拉列表中选择 **Both - Symmetric** 选项，在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 32.5，其他采用系统默认设置值。单击工具条中的  按钮，完成拉伸特征 2 的创建。

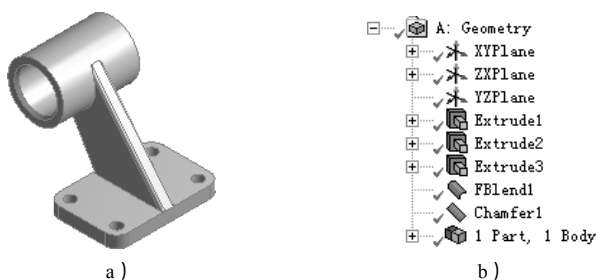


图 3.9.1 模型及特征树

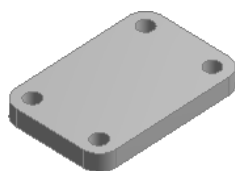


图 3.9.2 拉伸特征 1

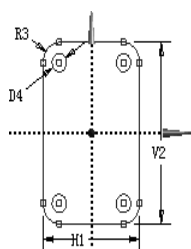


图 3.9.3 草图 1

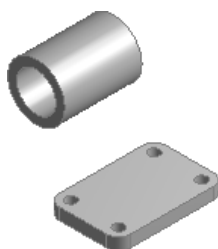


图 3.9.4 拉伸特征 2

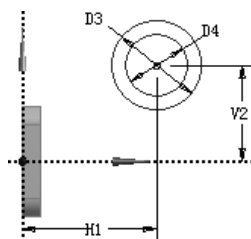



图 3.9.5 草图 2

步骤 06 创建图 3.9.6 所示的拉伸特征 3。

(1) 绘制图 3.9.7 所示的草图 3。选择 ZXPlane 平面为草图平面，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.9.7 所示的截面草图，其中 $H6=10$, $V7=60$, $A8=120$ (在添加约束过程中需将草图 2 显示出来)。

(2) 在工具条中单击  按钮，弹出“Details View”对话框，使用草图 3 作为截面，

在 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Material** 选项, 在 **Direction** 下拉列表中选择 **Both - Symmetric** 选项, 在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 5.5, 其他采用系统默认设置值。单击工具条中的 **Generate** 按钮, 完成拉伸特征 3 的创建。

步骤 07 创建图 3.9.8 所示的倒圆角特征 1。选择 **Create** → **Fixed Radius Blend** 命令, 弹出“Details View”对话框。在对话框中的 **FD1, Radius (>0)** 文本框中输入数值 2, 在 **Geometry** 文本框中单击, 选取图 3.9.9 所示的 4 条边线为倒圆角边线并单击 **Apply** 按钮。单击工具条中的 **Generate** 按钮, 完成倒圆角特征 1 的创建。



图 3.9.6 拉伸特征 3

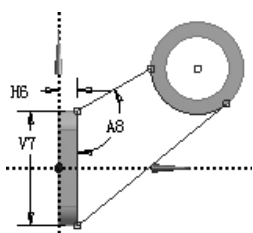


图 3.9.7 草图 3

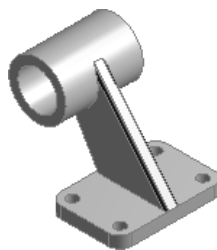


图 3.9.8 倒圆角特征 1

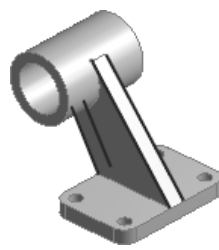


图 3.9.9 定义倒圆角边线

步骤 08 创建图 3.9.10 所示的倒角特征 1。选择 **Create** → **Chamfer** 命令, 弹出“Details View”对话框。在 **Geometry** 文本框中单击, 选取图 3.9.11 所示的边线为倒角边线并单击 **Apply** 按钮。在 **FD1, Left Length (>0)** 文本框和 **FD2, Right Length (>0)** 文本框中均输入数值 2。单击工具条中的 **Generate** 按钮, 完成倒角特征 1 的创建。

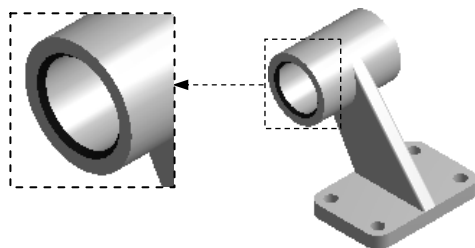


图 3.9.10 倒角特征 1

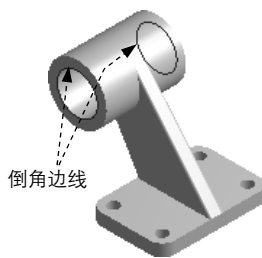


图 3.9.11 定义倒角边线

步骤 09 保存文件。选择 **File** → **Save Project** 命令, 在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 bracket, 单击 **保存(S)** 按钮。

3.10 几何建模综合应用三

应用概述:

本应用介绍了一个钣金零件的建模设计过程, 其中主要使用了拉伸、基准面、体操作、解

冻和倒圆角等命令。其中创建基准平面是学习的重点，需要读者认真体会。下面具体介绍其设计过程，其模型及特征树如图 3.10.1 所示。

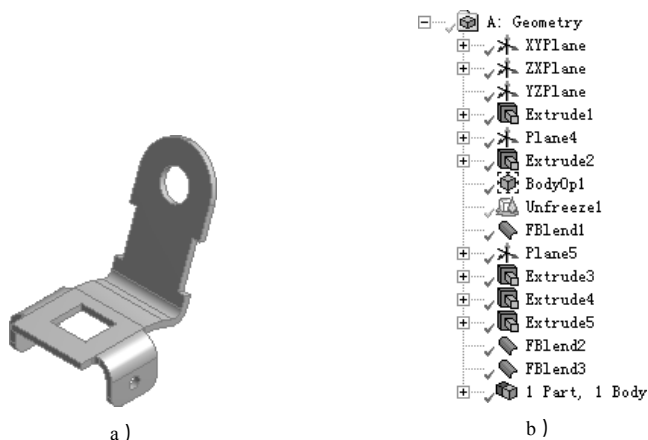



图 3.10.1 模型及特征树

步骤 01 创建“Geometry”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Geometry** 选项，即创建一个“Geometry”项目列表。


步骤 02 新建几何体。在“Geometry”项目列表中右击 **Geometry** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **New Geometry...** 命令，弹出“ANSYS Workbench”对话框。

步骤 03 定义建模单位。在“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项，单击 **OK** 按钮，完成建模单位的定义。

步骤 04 创建图 3.10.2 所示的拉伸特征 1。

(1) 绘制图 3.10.3 所示的草图 1。在“草图绘制”工具条中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 **ZXPlane** 平面作为草图平面，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.10.3 所示的截面草图，其中 $H1=100$ ， $H2=10$ ， $H3=100$ ， $R4=80$ ， $R5=10$ ， $A6=110$ ， $A7=160$ ， $V8=153$ 。

(2) 在工具条中单击 **Extrude** 按钮，弹出“Details View”对话框，使用草图 1 作为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Material** 选项，在 **Direction** 下拉列表中选择 **Both - Symmetric** 选项，在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 50；在 **As Thin/Surface?** 下拉列表中选择 **Yes** 选项，在 **FD2, Inward Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 0，在 **FD3, Outward Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 8，其他采用系统默认设置值；单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成拉伸特征 1 的创建。

步骤 05 创建图 3.10.4 所示的平面 4。单击基准平面工具条中的“New Plane”按钮 ，弹出“Details View”对话框，在对话框中的 **Type** 下拉列表中选择 **From Face** 选项，在 **Base Face** 文本框中单击，选取图 3.10.4 所示的模型表面为参考，在 **Transform 1 (RMB)** 下拉列表中选择 **Offset Z**

选项, 在 **FD1, Value 1** 文本框中输入数值 -20, 其余均采用系统默认设置值。单击工具条中的 **Generate** 按钮, 完成平面 4 的创建。



图 3.10.2 拉伸特征 1

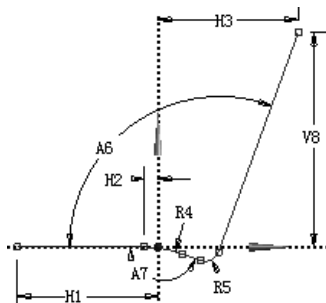


图 3.10.3 草图 1

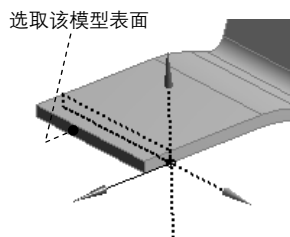





图 3.10.4 平面 4

步骤 06 创建图 3.10.5 所示的拉伸特征 2。

(1) 绘制图 3.10.6 所示的草图 2。选取 Plane4, 单击“New Sketch”按钮 , 绘制图 3.10.6 所示的截面草图, 其中 R1=15, V2=50。

(2) 在工具条中单击 **Extrude** 按钮 , 系统弹出“Details View”对话框, 使用草图 2 作为截面, 在 **Operation** 下拉列表中选择 **Add Frozen** 选项, 在 **Direction** 下拉列表中选择 **Reversed** 选项, 在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 65; 在 **As Thin/Surface?** 下拉列表中选择 **Yes** 选项, 在 **FD2, Inward Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 8, 在 **FD3, Outward Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 0, 其他采用系统默认设置值。单击工具条中的 **Generate** 按钮 , 完成拉伸特征 2 的创建。





步骤 07 创建图 3.10.7 所示的镜像操作 1。选择 **Create**  **Body Operation** 命令, 弹出“Details View”对话框, 在 **Type** 下拉列表中选择 **Mirror** 选项, 在 **Bodies** 文本框中单击, 选取图 3.10.8 所示的实体为镜像对象并单击 **Apply** 按钮 ; 单击以激活 **Mirror Plane** 后的文本框, 选取 ZXPlane 平面为镜像平面, 单击 **Mirror Plane** 文本框中的 **Apply** 按钮  确认。单击工具条中的 **Generate** 按钮 , 完成旋转操作的创建。



图 3.10.5 拉伸特征 2

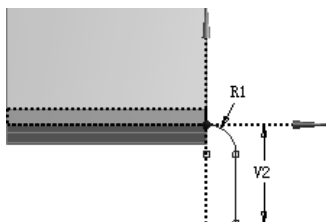


图 3.10.6 草图 2

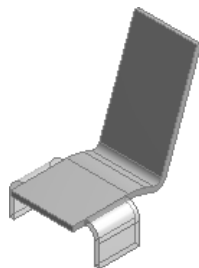


图 3.10.7 镜像操作 1

步骤 08 解冻所有体。选择 **Tools**  **Unfreeze** 命令; 弹出“Details View”对话框,

选取所有实体为解冻对象并单击 **Apply** 按钮。单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成解冻。

步骤 09 创建图 3.10.9 所示的倒圆角特征 1。选择 **Create** **Fixed Radius Blend** 命令，弹出“Details View”对话框。在 **FD1, Radius (>0)** 文本框中输入数值 50，在 **Geometry** 文本框中单击，选取图 3.10.10 所示的 2 条边线为倒圆角边线并单击 **Apply** 按钮。单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成倒圆角特征 1 的创建。

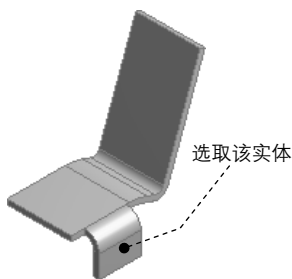


图 3.10.8 定义镜像对象



图 3.10.9 倒圆角特征 1

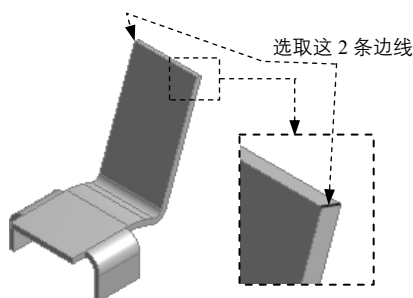



图 3.10.10 定义倒圆角边线

步骤 10 创建图 3.10.11 所示的平面 5。单击基准平面工具条中的“New Plane”按钮 ，弹出“Details View”对话框，在对话框中的 **Type** 下拉列表中选择 **3 Points** 选项，在 **Selected Points** 文本框中单击，依次选取图 3.10.12 所示的点 1、点 2 和点 3 为参考，其余均采用系统默认设置值。单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成平面 5 的创建。

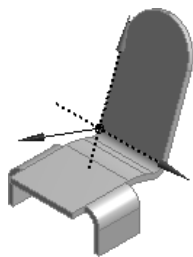


图 3.10.11 平面 5

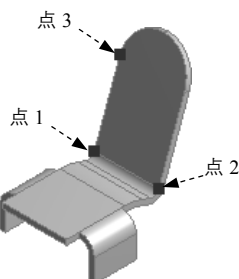




图 3.10.12 选择参照点




图 3.10.13 拉伸特征 3

(1) 绘制图 3.10.14 所示的草图 3。选取 Plane5，单击“New Sketch”按钮 ，绘制图 3.10.14 所示的截面草图，其中 $H1=100$ ， $H2=10$ ， $V3=60$ ， $V4=15$ ， $H5=50$ ， $D6=40$ ， $V7=117$ 。

(2) 在工具条中单击 **Extrude** 按钮 ，弹出“Details View”对话框，使用草图 3 作为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Cut Material** 选项，在 **Direction** 下拉列表中选择 **Reversed** 选项，在 **Extent Type** 下拉列表中选择 **To Next** 选项，其他采用系统默认设置值。单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成拉伸特征 3 的创建。

步骤 12 创建图 3.10.15 所示的拉伸特征 4。

(1) 绘制图 3.10.16 所示的草图 4。选取 YZPlane 平面，单击“New Sketch”按钮，绘制图 3.10.16 所示的截面草图，其中 $H1=50$ ， $V2=45$ ， $V3=25$ 。

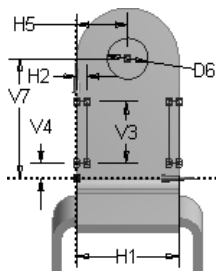


图 3.10.14 草图 3



图 3.10.15 拉伸特征 4

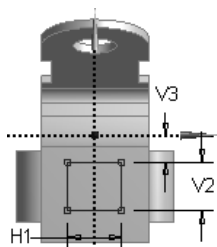







图 3.10.16 草图 4

(2) 在工具条中单击按钮，弹出“Details View”对话框，使用草图 4 作为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Cut Material** 选项，在 **Direction** 下拉列表中选择 **Reversed** 选项，在 **Extent Type** 下拉列表中选择 **To Next** 选项，其他采用系统默认设置值。单击工具条中的按钮，完成拉伸特征 4 的创建。

步骤 13 创建图 3.10.17 所示的拉伸特征 5。

(1) 绘制图 3.10.18 所示的草图 5。选取 ZXPlane 平面，单击“New Sketch”按钮，绘制图 3.10.18 所示的截面草图，其中 $D11=15$ ， $H10=47.5$ ， $V9=38$ 。

(2) 在工具条中单击按钮，弹出“Details View”对话框，使用草图 5 作为截面，在 **Operation** 下拉列表中选择 **Cut Material** 选项，在 **Direction** 下拉列表中选择 **Both - Symmetric** 选项，在 **FD1, Depth (>0)** 文本框中输入数值 80，其他采用系统默认设置值。单击工具条中的按钮，完成拉伸特征 5 的创建。



步骤 14 创建图 3.10.19 所示的倒圆角特征 2。选择 **Create**  **Fixed Radius Blend** 命令，弹出“Details View”对话框。在 **FD1, Radius (>0)** 文本框中输入数值 15，在 **Geometry** 文本框中单击，选取图 3.10.20 所示的 4 条边线为倒圆角边线并单击 **Apply** 按钮。单击工具条中的按钮，完成倒圆角特征 2 的创建。



图 3.10.17 拉伸特征 5

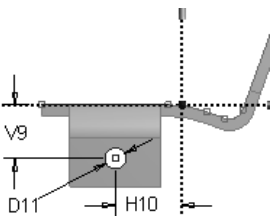


图 3.10.18 草图 5

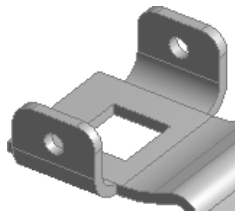


图 3.10.19 倒圆角特征 2

步骤 15 创建图 3.10.21 所示的倒圆角特征 3。选择 **Create**  **Fixed Radius Blend** 命令，

弹出“Details View”对话框。在 **FD1, Radius (>0)** 文本框中输入数值 5, 在 **Geometry** 文本框中单击, 选取图 3.10.22 所示的 4 条边线为倒圆角边线并单击 **Apply** 按钮。单击工具条中的 **Generate** 按钮, 完成倒圆角特征 3 的创建。

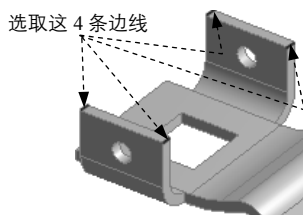


图 3.10.20 定义倒圆角边线

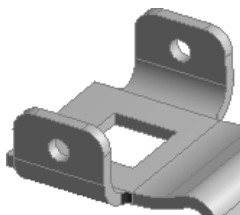


图 3.10.21 倒圆角特征 3

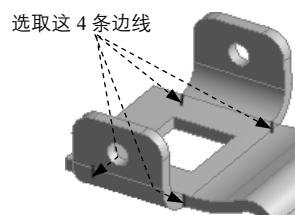



图 3.10.22 定义倒圆角边线

步骤 16 保存文件。选择 **File** → **Save Project** 命令, 在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 sheet-part, 单击 **保存(S)** 按钮。

第 4 章 载荷与约束的定义

4.1 定义约束

约束(Supports)用来在结构中限制结构系统或部件在一定范围内移动。在 ANSYS Mechanical 中常见的支撑约束包括：固定约束、强迫位移、远程位移、无摩擦约束、圆柱面约束、仅压缩约束、简支约束、固定旋转和弹性支撑。

在顶部工具栏区域中的“Environment”工具条中选择  命令，弹出图 4.1.1 所示的“支撑约束”子菜单。下面具体介绍几种常用支撑约束的添加方法。

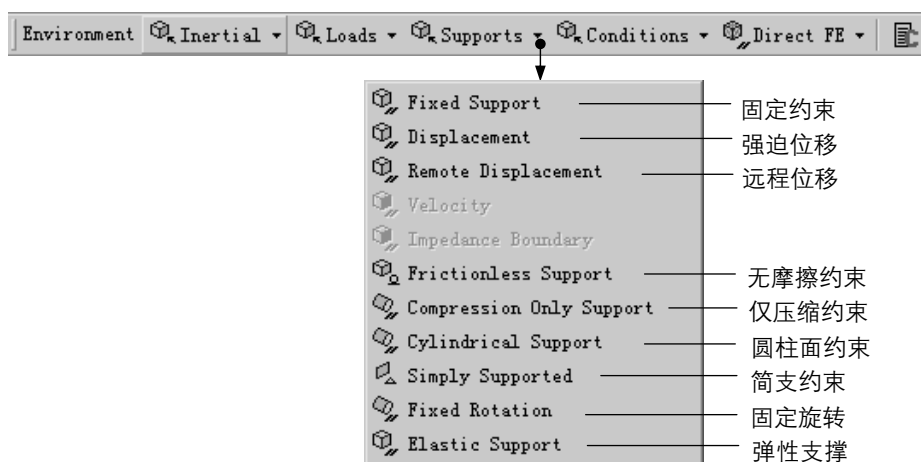





图 4.1.1 “支撑约束”子菜单

4.1.1 固定约束

固定约束 (Fixed Supports) 在顶点、边或面上施加，以便于限制所有的自由度。对于实体限制 X、Y、Z 方向上的移动；对于面体和线体限制 X、Y、Z 方向上的移动和绕各轴的转动。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择   命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.01\fixed-supports.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入

“Mechanical” 环境。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中选中 **Static Structural (B5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择 **Supports** → **Fixed Support** 命令，弹出图 4.1.2 所示的“Details of ‘Fixed Support’”对话框。

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.1.3 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。完成固定约束的添加，结果如图 4.1.4 所示。

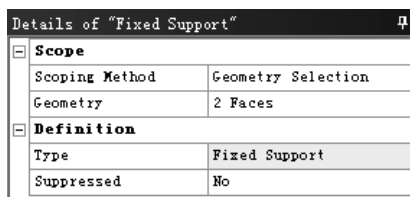


图 4.1.2 “Details of ‘Fixed Support’”对话框

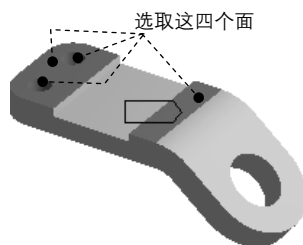


图 4.1.3 选取几何对象

4.1.2 强迫位移

强迫位移 (Displacement) 就是在顶点、边或面上施加已知位移。该约束允许 X、Y、Z 方向上的平移，当为“0”时表示该方向是受限的；若不设定其方向的值，表示该方向自由。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansys14.0\work\ch04.01\displacement.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择 **Supports** → **Displacement** 命令，弹出图 4.1.5 所示的“Details of ‘Displacement’”对话框。

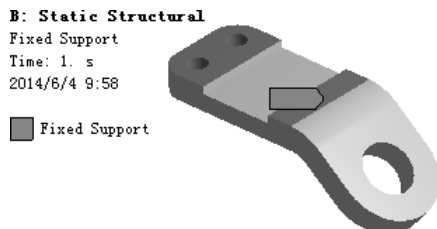


图 4.1.4 定义固定约束

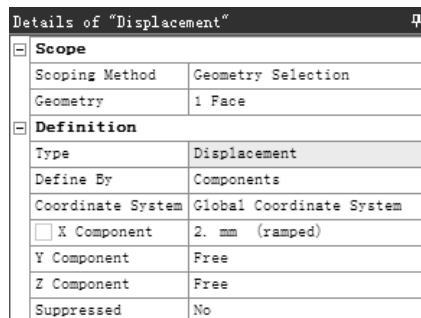



图 4.1.5 “Details of ‘Displacement’”对话框

步骤03 选取几何对象。选取图 4.1.6 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项。

步骤05 定义位移的大小。在 **X Component** 文本框中输入数值 2mm，分别单击 **Y Component** 和 **Z Component** 文本框右侧的  按钮，然后在弹出的快捷菜单中选择 **Free** 选项，完成强迫位移约束的添加，结果如图 4.1.7 所示。

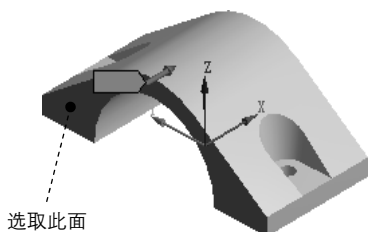


图 4.1.6 选取几何对象

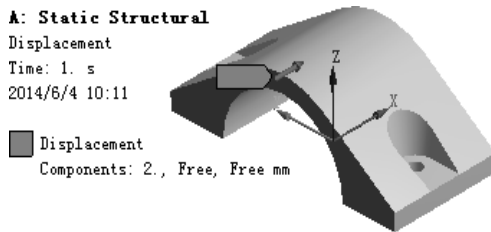




图 4.1.7 定义强迫位移

4.1.3 远程位移

远程位移 (Remote Displacement) 就是在远端施加平动和旋转位移。该约束需定义远端的定位点，可通过选取点或定义坐标值来完成，通常应用局部坐标施加远端转角。下面具体介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File**  **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.01\remote-displacement.wbpj”，在项目列表中双击  **Model** 选项，进入 “Mechanical” 环境中。

步骤02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中  **Static Structural (A5)** 选项，在 “Environment” 工具栏中选择  **Supports**   **Remote Displacement** 命令，弹出图 4.1.8 所示的 “Details of ‘Remote Displacement’” 对话框。

步骤03 选取几何对象。选取图 4.1.9 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤04 定义坐标系统。在 **Scope** 区域的 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System 2** 选项。

步骤05 定义远程位移位置。分别在 **X Coordinate**、**Y Coordinate** 和 **Z Coordinate** 文本框中输入数值 0、0、20。

步骤06 定义位移值。在 **Definition** 区域的 **X Component** 文本框中输入数值 0mm, 在 **Y Component** 文本框中输入数值 0mm, 在 **Z Component** 文本框中输入数值 2mm; 在 **Rotation X** 文本框中输入数值 0° , 在 **Rotation Y** 文本框中输入数值 0° , 在 **Rotation Z** 文本框中输入数值 0° 。

步骤07 完成远程位移约束的添加, 结果如图 4.1.10 所示。

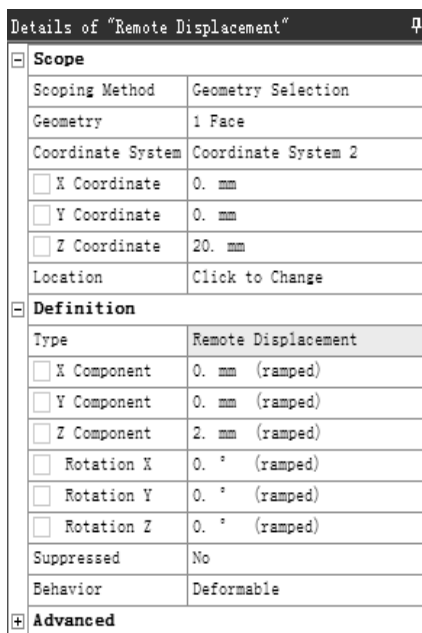


图 4.1.8 “Details of ‘Remote Displacement’”对话框

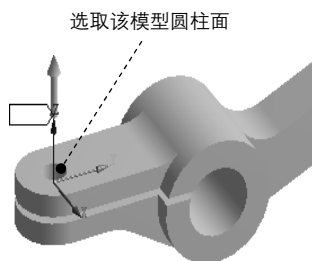


图 4.1.9 选取几何对象

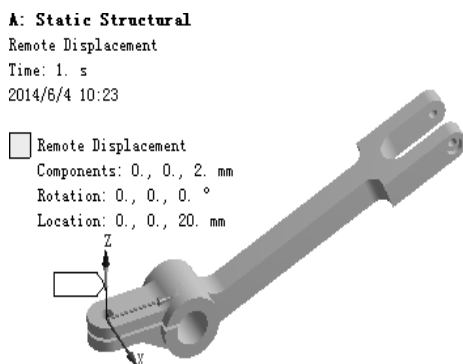


图 4.1.10 定义远程位移

4.1.4 无摩擦约束

无摩擦约束 (Frictionless Support) 用于在面上施加法向约束, 对于实体零件可以用于模拟对称边界约束。下面具体介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.01\frictionless-support.wbpj”, 在项目列表中双击 **Model** 选项, 进入 “Mechanical” 环境。

步骤02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项, 在 “Environment” 工具栏中选择 **Supports** → **Frictionless Support** 命令, 弹出图 4.1.11 所示的 “Details of ‘Frictionless Support’” 对话框。

步骤03 选取几何对象。选取图 4.1.12 所示的模型表面为几何对象, 在 **Geometry** 后的文本框

中单击 **Apply** 按钮。完成无摩擦约束的添加，结果如图 4.1.13 所示。

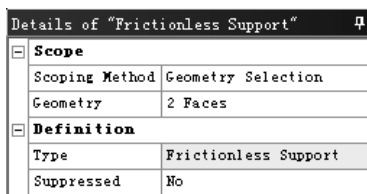


图 4.1.11 “Details of ‘Frictionless Support’” 对话框

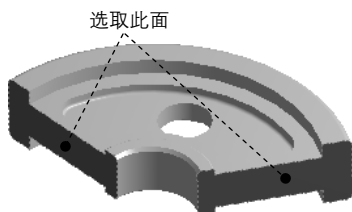


图 4.1.12 选取几何对象

4.1.5 仅压缩约束

仅压缩约束 (Compression Only Support) 用于在任何表面上施加法向上的压缩约束，且压缩的约束仅仅限制这个表面在约束的法向正方向的移动。该约束常常用来模拟圆柱面上受销钉、螺栓等的作用，求解时需要进行迭代 (非线性)。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.01\compression-only-support.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入 “Mechanical” 环境。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项，在 “Environment” 工具栏中选择 **Supports** → **Compression Only Support** 命令，弹出图 4.1.14 所示的 “Details of ‘Compression Only Support’” 对话框。

A: Static Structural
Frictionless Support
Time: 1. s
2014/8/4 10:32

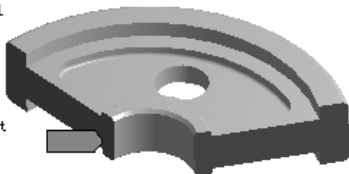


图 4.1.13 定义无摩擦约束

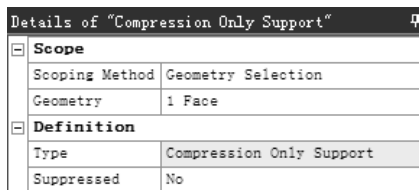


图 4.1.14 “Details of ‘Compression Only Support’” 对话框

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.1.15 所示的模型任一圆柱面 (配合螺栓) 为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。完成仅压缩约束的添加，结果如图 4.1.16 所示。

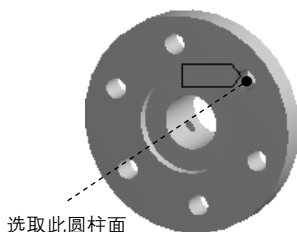


图 4.1.15 选取几何对象

A: Static Structural
Compression Only Support
Time: 1. s
2014/8/4 10:36

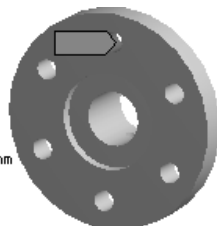


图 4.1.16 定义仅压缩约束

4.1.6 圆柱面约束

圆柱面约束 (Cylindrical Support) 施加在圆柱面上, 可以指定轴向、径向和切向约束。该约束仅适用于线性分析。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.01\cylindrical-support.wbpj”, 在项目列表中双击 **Model** 选项, 进入 “Mechanical” 环境中。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项, 在 “Environment” 工具栏中选择 **Supports** → **Cylindrical Support** 命令, 弹出图 4.1.17 所示的 “Details of ‘Cylindrical Support’” 对话框。

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.1.18 所示的模型圆柱面为几何对象, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

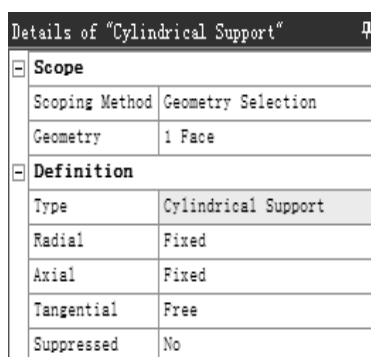


图 4.1.17 “Details of ‘Cylindrical Support’” 对话框

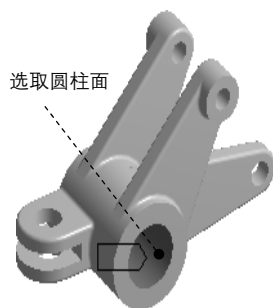


图 4.1.18 选取几何对象

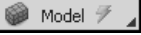
步骤 04 定义约束属性。在 **Definition** 区域的 **Radial** 下拉列表中选择 **Fixed** 选项, 在 **Axial** 下拉列表中选择 **Fixed** 选项, 在 **Tangential** 下拉列表中选择 **Free** 选项。


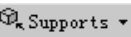

步骤 05 完成圆柱面约束的添加, 结果如图 4.1.19 所示。

4.1.7 简支约束


简支约束 (Simply Supported) 仅用于面体或线性模型的三维模型, 可以将其施加在梁或壳体的表面、边缘及顶点上, 用来限制平移, 但是允许旋转且所有旋转都是自由的。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令, 打开文件

“D:\ansc14.0\work\ch04.01\simply-supported.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口中选中  **Static Structural (A5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择  **Supports**  **Simply Supported** 命令，弹出图 4.1.20 所示的“Details of ‘Simply Supported’”对话框。

A: Static Structural
Cylindrical Support
Time: 1. s
2014/6/4 10:43

 Cylindrical Support: 0. mm

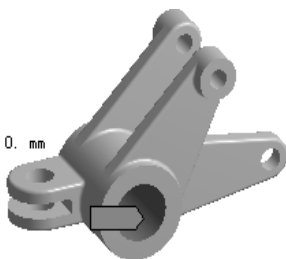


图 4.1.19 定义圆柱面约束

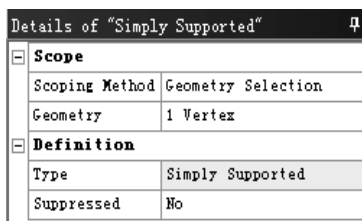


图 4.1.20 “Details of ‘Simply Supported’”对话框

步骤03 选取几何对象。选取图 4.1.21 所示的点为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。完成简支约束的添加，结果如图 4.1.22 所示。

选取该点

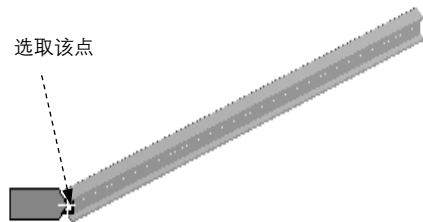


图 4.1.21 选取几何对象

A: Static Structural
Simply Supported
Time: 1. s
2014-6-4 14:35

 Simply Supported: 0. mm

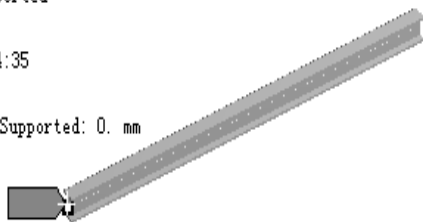

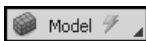




图 4.1.22 定义简支约束

4.1.8 固定旋转

固定旋转（Fixed Rotation）可施加在梁或壳体的表面、边及顶点上来约束旋转，但平移是自由的。下面具体介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File**  **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch04.01\fixed-rotation.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口中选中  **Static Structural (B5)** 选项，在“Environment”

工具栏中选择  **Supports**  **Fixed Rotation** 命令，弹出图 4.1.23 所示的“Details of ‘Fixed Rotation’”对话框。

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.1.24 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

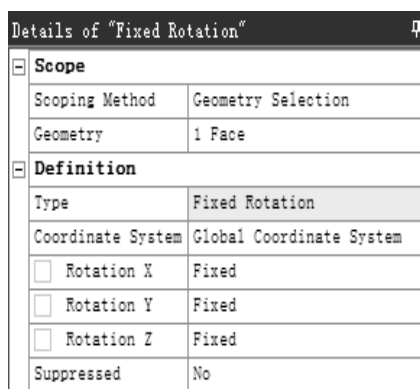


图 4.1.23 “Details of ‘Fixed Rotation’”对话框

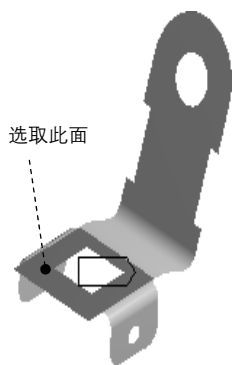




图 4.1.24 选取几何对象

步骤 04 定义方向类型。在 **Definition** 区域中，分别在 **Rotation X**、**Rotation Y** 和 **Rotation Z** 下拉列表中均选择 **Fixed** 选项。

步骤 05 完成固定旋转约束的添加，结果如图 4.1.25 所示。

4.1.9 弹性支撑

弹性支撑 (Elastic Support) 就是在面、边界上模拟类似弹簧的行为产生移动或变形。弹性支撑是基于定义的基础刚度，即产生基础单位法向变形的压力值。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File**  **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.01\elastic-support.wbpj”，在项目列表中双击  **Model** 选项，进入 “Mechanical” 环境。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中  **Static Structural (B5)** 选项，在 “Environment” 工具栏中选择  **Supports**  **Elastic Support** 命令，弹出图 4.1.26 所示的“Details of ‘Elastic Support’”对话框。

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.1.27 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义刚度值。在 **Definition** 区域的 **Foundation Stiffness** 文本框中输入数值 100。完成

弹性支撑约束的添加，结果如图 4.1.28 所示。

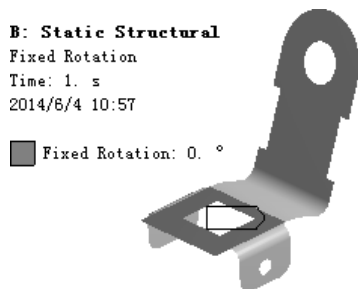


图 4.1.25 固定旋转约束

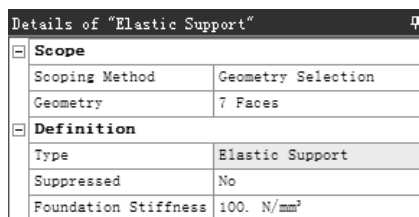


图 4.1.26 “Details of ‘Elastic Support’” 对话框

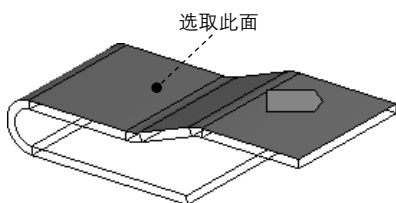


图 4.1.27 选取几何对象

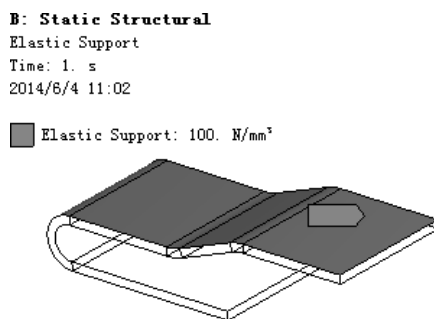



图 4.1.28 弹性支撑约束

4.2 载荷定义

4.2.1 惯性载荷

惯性载荷（Inertial）作用在整个系统中，常常与结构的质量有关，因此材料属性中必须有密度；且载荷是通过施加加速度来实现的，加速度是通过惯性力施加到结构上的，惯性力的方向与所施加的方向相反，包括加速度、重力加速度和旋转速度等。

在工具栏区域中的“Environment”工具条中选择  Inertial 命令，弹出图 4.2.1 所示的“惯性载荷”子菜单。

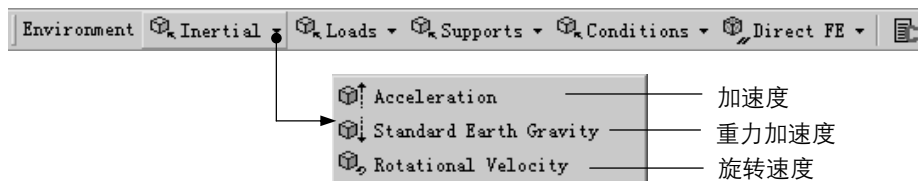


图 4.2.1 “惯性载荷子” 菜单

1. 加速度条件

此处的加速度 (Acceleration) 指的是线性加速度, 单位为 m/s^2 , 可以通过定义部件或矢量来进行添加。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** \rightarrow **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.02\acceleration.wbpj”, 在项目列表中双击 **Model** 选项, 进入 “Mechanical” 环境。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项, 在 “Environment” 工具栏中选择 **Inertial** \rightarrow **Acceleration** 命令, 弹出图 4.2.2 所示的 “Details of ‘Acceleration’” 对话框。

步骤 03 选取几何对象。系统自动选取整个几何体对象。

步骤 04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Vector** 选项。

步骤 05 定义加速度值。在 **Magnitude** 文本框中输入数值 10。

步骤 06 定义加速度方向。单击以激活 **Direction** 后的文本框, 选取图 4.2.3 所示的实体边线为参照方向, 调整箭头方向如图 4.2.3 所示, 单击 **Apply** 按钮确认。完成载荷添加, 结果如图 4.2.4 所示。

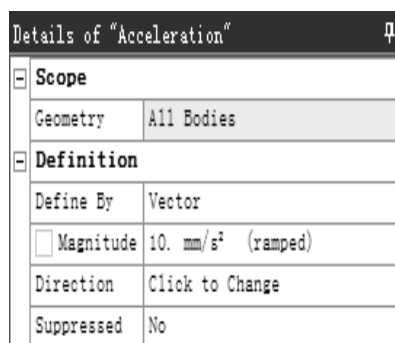


图 4.2.2 “Details of ‘Acceleration’” 对话框

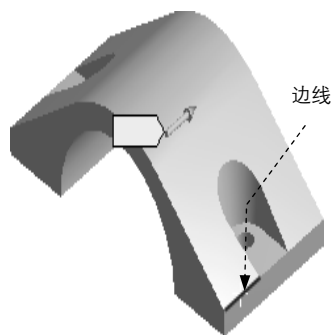


图 4.2.3 定义加速度方向

2. 重力加速度条件

重力加速度 (Standard Earth Gravity) 可以作为一个载荷施加, 方向可以沿着全局坐标轴的任意轴, 其值为 9.80665m/s^2 。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** \rightarrow **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.02\standard-earth-gravity.wbpj”, 在项目列表中双击 **Model** 选项, 进入

“Mechanical” 环境。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口中选中? **Static Structural (A5)** 选项, 在“Environment”工具栏中选择 **Inertial** \rightarrow **Standard Earth Gravity** 命令, 弹出图 4.2.5 所示的“Details of ‘Standard Earth Gravity’”对话框。

A: Static Structural

Acceleration

Time: 1. s

2014/6/4 9:35

☐ Acceleration: 10. mm/s²
Components: 10., 0., 0. mm/s²

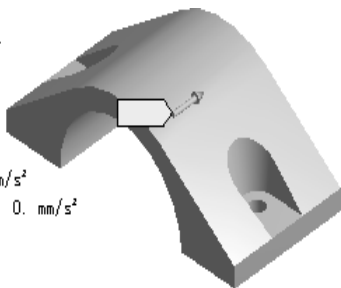


图 4.2.4 添加加速度条件

Details of "Standard Earth Gravity"	
[-] Scope	
Geometry	All Bodies
[-] Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. mm/s ² (ramped)
Y Component	0. mm/s ² (ramped)
Z Component	-9806.6 mm/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

图 4.2.5 “Details of ‘Standard Earth Gravity’”对话框

步骤03 选取几何对象。采用系统默认对象。

步骤04 定义加速度方向。在 **Definition** 区域的 **Direction** 下拉列表中选择 **-Z Direction** 选项。

完成载荷添加, 结果如图 4.2.6 所示。

3. 旋转速度条件

旋转速度 (Rotational Velocity) 是指整个模型以给定的速度旋转。它可以以矢量来实现, 给定转速大小和旋转轴, 也可以通过分量来定义, 在总体坐标系下指定点和分量值; 输入单位可以是 rad/s (默认选项), 也可以是 RPM (转每分)。下面具体介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** \rightarrow **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.02\rotational-velocity”, 在项目列表中双击 **Model** ☒ 选项, 进入 “Mechanical” 环境中。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口选中? **Static Structural (A5)** 选项, 在“Environment”工具栏中选择 **Inertial** \rightarrow **Rotational Velocity** 命令, 弹出图 4.2.7 所示的“Details of ‘Rotational Velocity’”对话框。

步骤03 选取几何对象。采用系统默认对象。

步骤04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项。

A: Static Structural
Standard Earth Gravity
Time: 1. s
2014/6/4 9:43

☐ Standard Earth Gravity: 9806.6 mm/s²
Components: 0., 0., -9806.6 mm/s²

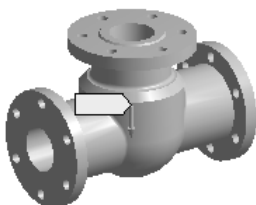


图 4.2.6 添加重力加速度条件

Details of "Rotational Velocity"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0. rad/s (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	1000. rad/s (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. rad/s (ramped)
<input type="checkbox"/> X Coordinate	0. mm
<input type="checkbox"/> Y Coordinate	0. mm
<input type="checkbox"/> Z Coordinate	0. mm
Suppressed	No

图 4.2.7 “Details of ‘Rotational Velocity’” 对话框

步骤 05 定义角速度。在 ☐ Y Component 文本框中输入数值 1000。完成旋转速度条件的添加，结果如图 4.2.8 所示。



对话框中旋转速度的单位是 rad/s，选择下拉菜单 **Units** → **RPM** 命令，可以将旋转速度单位改为 RPM（转每分）。

A: Static Structural
Rotational Velocity
Time: 1. s
2014/6/4 9:51

☐ Rotational Velocity: 1000. rad/s
Rotation: 0., 1000., 0. rad/s
Location: 0., 0., 0. mm

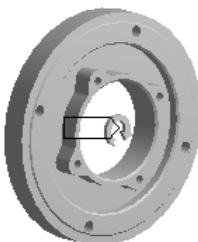


图 4.2.8 添加旋转速度条件

4.2.2 结构载荷


结构载荷（Loads）是作用在系统或部件结构上的力或力矩。在 ANSYS Mechanical 中常用的结构载荷包括力载荷、压力载荷、远程载荷、轴承载荷、螺栓载荷、力矩载荷和热载荷等。

在工具栏区域中的“Environment”工具条中选择 **Loads** 命令，弹出图 4.2.9 所示的“结构载荷”子菜单。下面具体介绍几种常用载荷的添加方法。

1. 力载荷

力（Force）可以施加在结构的顶点、边缘或面上，且施加的力将分布到整个结构当中去。力可以通过矢量或分量来定义，其单位是 N（国际单位）。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件

“D:\ansc14.0\work\ch04.02\force.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。

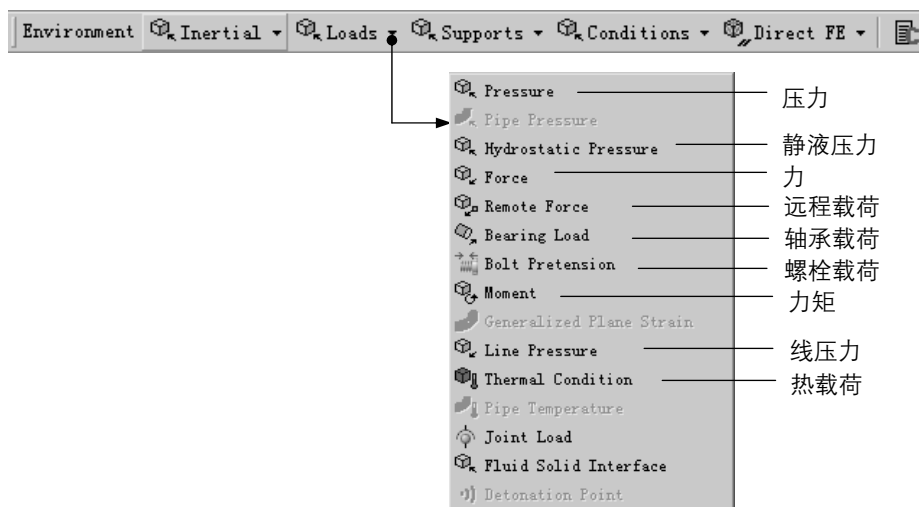

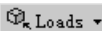



图 4.2.9 “结构载荷”子菜单

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中选中  **Static Structural (B5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择  **Loads**  **Force** 命令，弹出图 4.2.10 所示的“Details of ‘Force’”对话框(一)。

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.2.11 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。

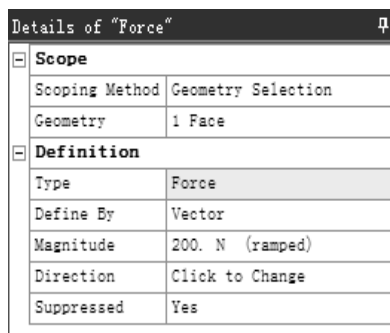


图 4.2.10 “Details of ‘Force’”对话框(一)

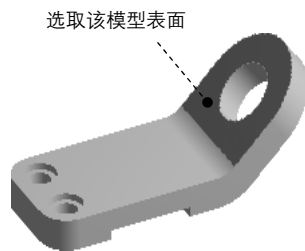


图 4.2.11 选取几何对象

步骤 04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Vector** 选项。

步骤 05 定义力的大小。在 **Magnitude** 文本框中输入数值 200。

步骤 06 定义力的方向。

(1) 单击以激活 **Direction** 后的文本框，选取图 4.2.12 所示的面为方向参考，调整箭头方向

如图 4.2.12 所示。

(2) 单击 **Apply** 按钮确认，完成力载荷添加，结果如图 4.2.13 所示。

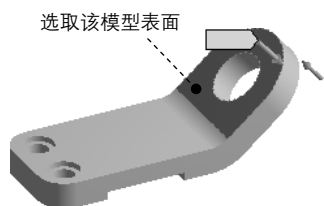


图 4.2.12 定义力方向

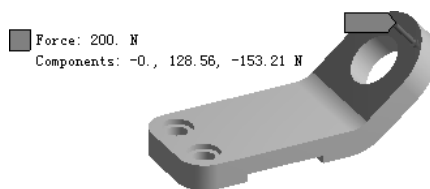


图 4.2.13 添加力载荷

图 4.2.10 所示的“Details of ‘Force’”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Magnitude** 下拉列表：用于设置载荷值定义类型。
- **Import...** 选项：从外界导入载荷文件。选中该选项，弹出图 4.2.14 所示的“Import Load History Data”对话框，用于添加和编辑载荷文件。

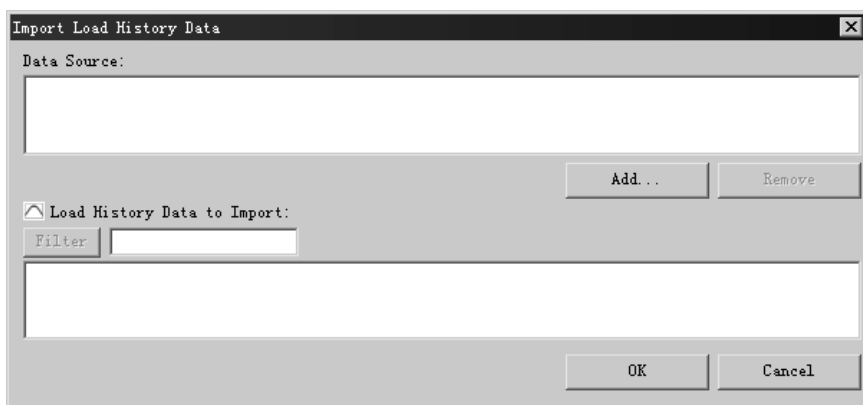


图 4.2.14 “Import Load History Data”对话框

- **Export...** 选项：将定义的载荷导出。选中该选项，弹出图 4.2.15 所示的“另存为”对话框，输入文件名称，单击 **保存(S)** 按钮，即可导出载荷文件。

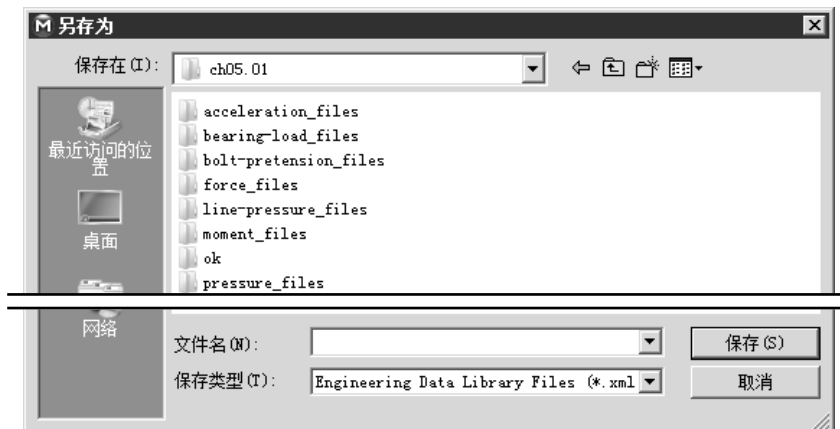


图 4.2.15 “另存为”对话框

- ☒ **Constant** 选项：选中该选项，用于定义恒定的载荷值。
- ☒ **Tabular (Time)** 选项：选中该选项，用于定义一个表格类型载荷，此时的对话框如图 4.2.16 所示，在图 4.2.17 所示的 Tabular Data 数据表（一）中定义表格数据。

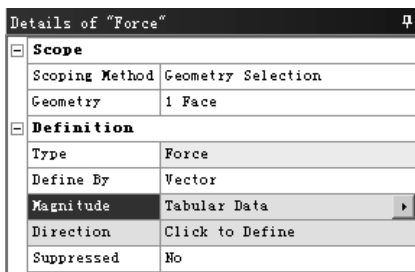


图 4.2.16 “Details of ‘Force’” 对话框（二）

	Steps	Time [s]	Force [N]
1	1	0.	0.
2	1	1.	0.
*			

图 4.2.17 Tabular Data 数据表（一）

- ☒ **Function** 选项：选中该选项，用于定义函数类型的载荷，此时的对话框如图 4.2.18 所示，在对话框中的 **Number Of Segments** 文本框中输入表格段数。在图 4.2.19 所示的 Tabular Data 数据表（二）中定义函数。

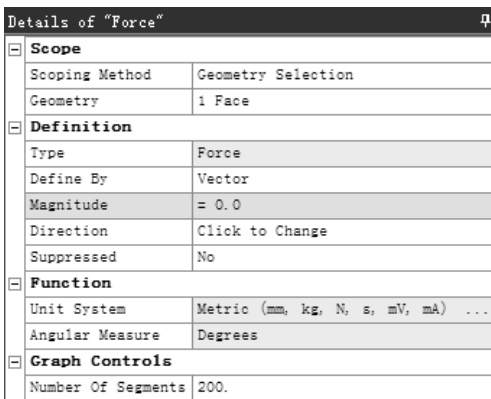


图 4.2.18 “Details of ‘Force’” 对话框（三）

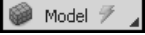
	Step	Time [s]	Force [N]
1	1	0.	0.
2	1	5. e-003	0.
3	1	1. e-002	0.
4	1	1.5e-002	0.
5	1	2. e-002	0.
6	1	2.5e-002	0.
7	1	3. e-002	0.
8	1	3.5e-002	0.
9	1	4. e-002	0.
10	1	4.5e-002	0.
11	1	5. e-002	0.

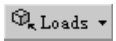

图 4.2.19 Tabular Data 数据表（二）

2. 力矩载荷

力矩（Moment）可以施加在任意模型表面上、实体表面的定点或边缘处，可以通过矢量及其大小或分量来定义。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件

“D:\ansc14.0\work\ch04.02\moment.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中选中  **Static Structural (A5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择  **Loads** \rightarrow  **Moment** 命令，弹出图 4.2.20 所示的“Details of ‘Moment’”对话框。

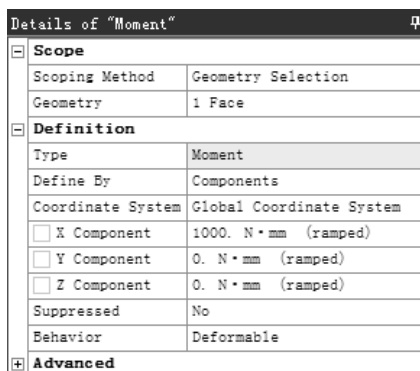


图 4.2.20 “Details of ‘Moment’”对话框

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.2.21 所示的模型圆柱面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项。

步骤 05 定义载荷的大小。在 ☒ **X Component** 文本框中输入数值 1000N·mm。完成力矩载荷添加，结果如图 4.2.22 所示。

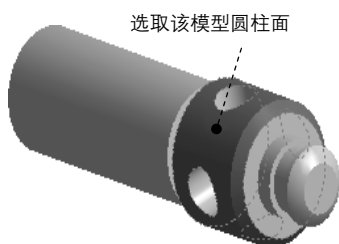


图 4.2.21 选取几何对象

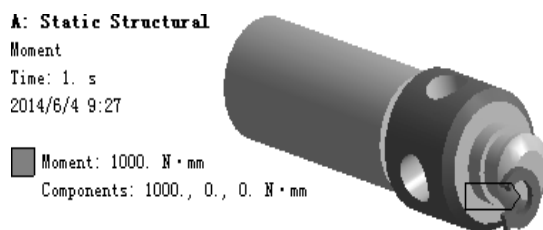
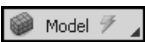





图 4.2.22 添加力矩载荷

3. 压力载荷

在 ANSYS Mechanical 中压力载荷通常又可分为压力（Pressure）、静液压力（Hydrostatic Pressure）和线压力（Line Pressure）三种，下面具体介绍其中的压力载荷的定义方法。

压力（Pressure）作用在表面上，方向与表面一致，指向面内时为正值，反之为负值；其单位是 Pa（国际单位）。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** \rightarrow **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch04.02\pressure.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中选中  **Static Structural (A5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择  **Loads** \rightarrow  **Pressure** 命令，弹出图 4.2.23 所示的“Details of ‘Pressure’”对

话框。

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.2.24 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Normal To** 选项。

步骤 05 定义压力的大小。在 **Magnitude** 文本框中输入数值 10MPa，完成压力载荷添加。

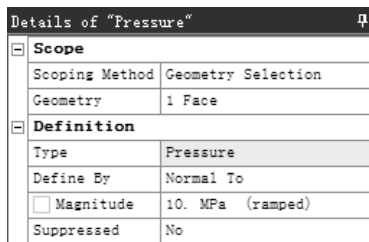


图 4.2.23 “Details of ‘Pressure’” 对话框

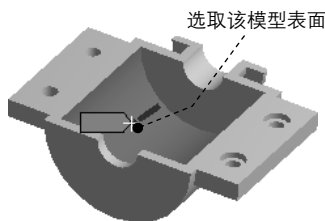


图 4.2.24 选取几何对象

4. 远程载荷

远程载荷 (Remote Force) 是在几何模型的表面或边上施加偏置的力，并设定其力的初始位置，其力可以通过矢量和大小或分量来定义。若在某面上施加一远程载荷后，则相当于在这个面上将得到一个等效力和偏置所引起的力矩。这里可以通过力学中的平移定理、等效原理和圣维南原理来理解远程载荷。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch04.02\remote-force .wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入 “Mechanical” 环境。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项，在 “Environment” 工具栏中选择 **Loads** → **Remote Force** 命令，弹出图 4.2.25 所示的 “Details of ‘Remote Force’” 对话框。

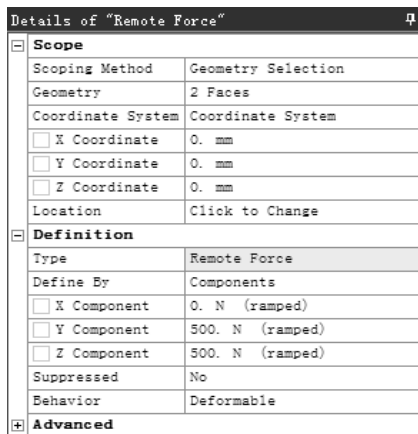


图 4.2.25 “Details of ‘Remote Force’” 对话框

步骤 03 选取几何对象。选取图 4.2.26 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 定义坐标系系统。在 **Scope** 区域的 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项。

步骤 05 定义远程载荷作用位置。分别在 **X Coordinate**、**Y Coordinate** 和 **Z Coordinate** 文本框中输入数值 0。

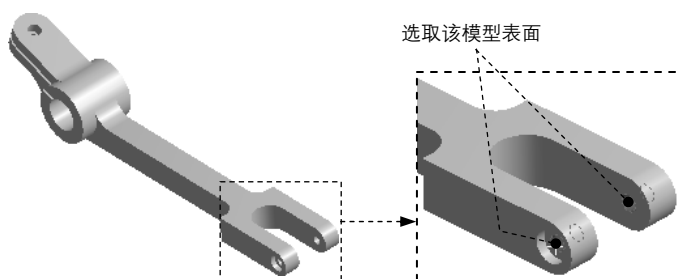


图 4.2.26 选取几何对象

步骤 06 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项。

步骤 07 定义载荷的大小。在 **Y Component** 和 **Z Component** 文本框中输入数值 500N。完成远程载荷添加，结果如图 4.2.27 所示。

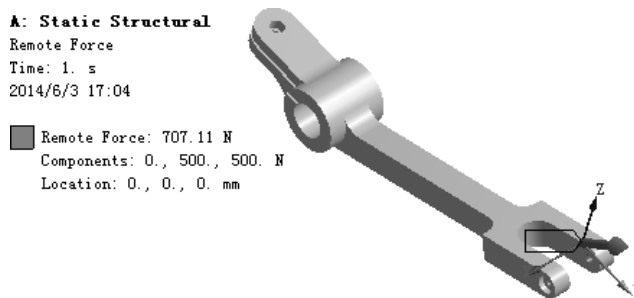


图 4.2.27 施加远程载荷

5. 轴承载荷

轴承载荷 (Bearing Load) 只施加在圆柱的表面上，其径向分量将根据投影面积来分布压力，轴向载荷分量沿着圆周均匀分布。一个圆柱面只施加一个轴承载荷，且可以通过矢量和大小或分量来定义，其单位是 N (国际单位)。下面具体介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch04.02\bearing-load.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口中选中 **Static Structural (B5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择 **Loads** → **Bearing Load** 命令，弹出图 4.2.28 所示的“Details of ‘Bearing Load’”对话框。

步骤03 选取几何对象。选取图 4.2.29 所示的圆柱面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。

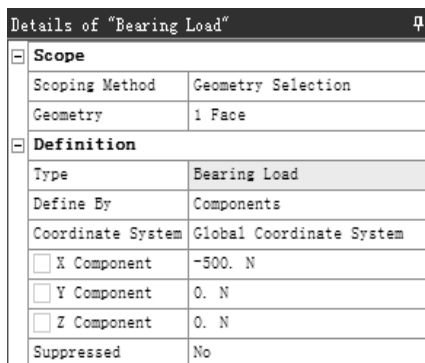


图 4.2.28 “Details of ‘Bearing Load’”对话框

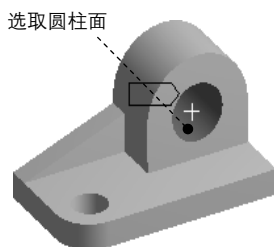


图 4.2.29 选取几何对象

步骤04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项。

步骤05 定义载荷的大小。在 **X Component** 文本框中输入数值-500N。完成轴承载荷添加，结果如图 4.2.30 所示。

6. 螺栓载荷

螺栓载荷 (Bolt Pretension) 就是在圆柱截面上施加预紧载荷以达到模拟螺栓连接，且预紧载荷值使用在 3D 模拟中，但需定义一个以 Z 轴为主方向的局部坐标系。下面具体介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择下拉菜单 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch04.02\bolt-pretension.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口中选中 **Static Structural (A5)** 选项，在“Environment”工具栏中选择 **Loads** → **Bolt Pretension** 命令，弹出图 4.2.31 所示的“Details of ‘Bolt

Pretension'” 对话框。

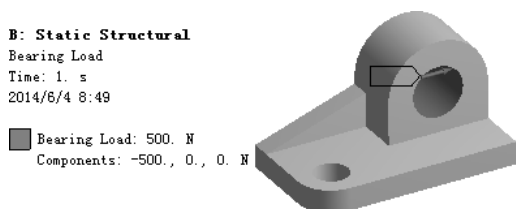


图 4.2.30 添加轴承载荷

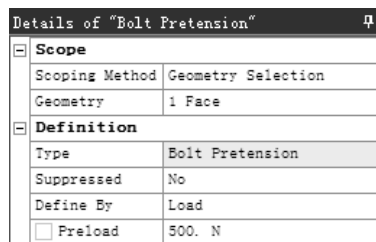


图 4.2.31 “Details of ‘Bolt Pretension’” 对话框

步骤 03 选取几何对象。在图形中选取图 4.2.32 所示的任一螺栓的圆柱面为几何对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 定义方式。在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Load** 选项。

步骤 05 定义载荷的大小。在 **Preload** 文本框中输入数值 500N。完成螺栓载荷添加，用同样的方法添加其他螺栓载荷，结果如图 4.2.33 所示。

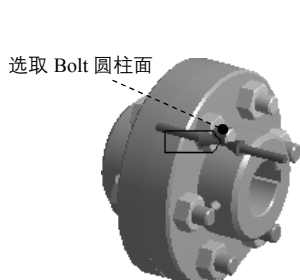


图 4.2.32 选取几何对象

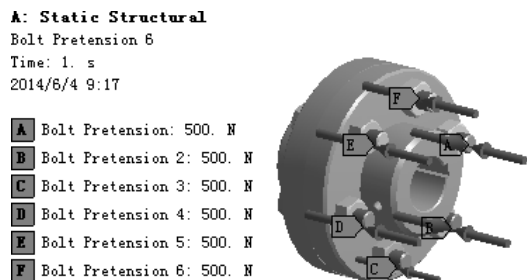


图 4.2.33 添加螺栓载荷

图 4.2.31 所示的“Details of ‘Bolt Pretension’”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Define By** 下拉列表：用于设置螺栓载荷定义方式。
 - **Load** 选项：选中该选项，用于定义螺栓预载荷，此时在对话框中的 **Preload** 文本框中输入螺栓载荷。
 - **Adjustment** 选项：选中该选项，用于定义螺栓调整间隙，此时在对话框中的 **Preadjustment** 文本框中输入调整间隙值。
 - **Open** 选项：选中该选项，定义一个开放螺栓载荷。

第 5 章 网 格 划 分

5.1 ANSYS Workbench14.0 网格划分基础

在 ANSYS Workbench 中,从简便的自动网格划分到高级网格划分,ANSYS Meshing 都有完美的解决方案,其网格划分技术继承了 ANSYS Mechanical、ANSYS ICEM CFD、ANSYS CFX、GAMBIT、TurboGrid 和 CADOE 等 ANSYS 各结构/流体网格划分程序的相关功能。

ANSYS Meshing 根据所求解问题的物理类型(结构、流体、电磁、显式等)设定了相应的、智能化的网格划分程序。因此,用户一旦输入新的 CAD 几何模型并选择所需的物理类型,即可使用 ANSYS Meshing 强大的自动网格划分功能进行网格自动化处理。当 CAD 模型参数变化后,网格的重新划分会自动进行,实现 CAD-CAE 的无缝集成。

ANSYS Meshing 提供了包括混合网格和全六面体自动网格等在内的一系列高级网格划分技术,方便用户进行自定义以对具体的隐式/显式结构、流体、电磁、板壳、2D 模型、梁杆模型等进行细致的网格处理,得到最佳的网格模型,为高精度分析计算打下基础。

除了 ANSYS Meshing 之外,还有顶级的 ANSYS ICEM CFD 和 ANSYS TurboGrid 网格划分平台。虽然它们在不断地整合到 ANSYS Meshing 中,但其强大的网格划分功能、独特的网格划分方法,在划分复杂网格方面表现突出,也是 ANSYS 网格划分平台的重要组成部分。

5.1.1 ANSYS 网格划分平台

网格划分平台实际上为 ANSYS 软件的不同物理场和求解器提供相应的网格文件。Workbench 中划分网格的软件主要有 ICEM CFD、TGRID、CFX-Mesh 和 Gambit 等,网格文件具体地说主要有两类。

(1) 有限元分析(FEM)网格,其中包括:

- ◆ 用于机械动力学(隐式)仿真的网格。
- ◆ 用于显式动力学仿真(ANSYS LS DYNA &AUTODYN)计算的网格。
- ◆ 用于电磁场仿真的网格。

(2) 计算流体力学(CFD)的网格,其中包括:

- ◆ 用于 ANSYS CFX 计算的网格。
- ◆ 用于 ANSYS FLUENT 计算的网格。

◆ 用于 POLYFLOW 计算的网格。

5.1.2 ANSYS Workbench 网格划分用户界面

在 ANSYS Workbench 中要完成网格划分, 可以在 ANSYS 专有网格划分平台 (ANSYS Meshing) 上进行, 也可以在后面的分析环境中进行, 本章主要介绍在 ANSYS 专有网格划分平台上进行网格划分的相关内容, 在分析环境中进行网格划分将在后面的章节中介绍。

进入 ANSYS 专有网格划分平台主要有以下两种方法。

方法一: 首先创建一个“Geometry”项目列表, 然后创建“Mesh”项目列表并进入 ANSYS 专有网格划分平台, 具体操作方法如下。

步骤 01 创建“Geometry”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Geometry** 选项, 新建一个“Geometry”项目列表。

步骤 02 导入几何体模型。在“Geometry”项目列表中右击 **Geometry**, 在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令, 选择文件“D:\ansc14.0\work\ch05.01\mesh-divide.Stp”。

步骤 03 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中选择 **Mesh** 并拖曳到项目视图区的“Geometry”项目列表中的 **Geometry** 上释放。

步骤 04 进入 ANSYS 专有网格划分平台。在“Mesh”项目列表中双击 **Mesh**, 系统进入 ANSYS 专有网格划分平台, 如图 5.1.1 所示。

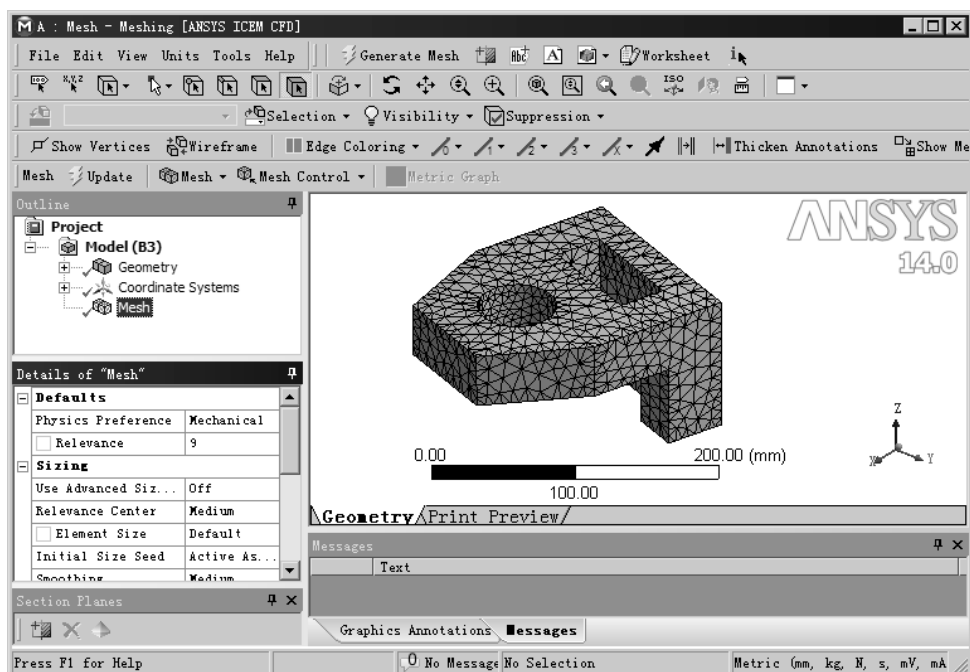


图 5.1.1 ANSYS 专有网格划分平台

方法二：直接创建“Mesh”项目列表并进入 ANSYS 专有网格划分平台，具体操作方法如下。

步骤 01 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Mesh** 选项，新建一个“Mesh”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Mesh”项目列表中右击 **Geometry**，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，选择文件“D:\ansc14.0\work\ch05.01\mesh-divide.stp”。

步骤 03 进入 ANSYS 专有网格划分平台。在“Mesh”项目列表中双击 **Mesh**，系统进入 ANSYS 专有网格划分平台。

图 5.1.2 所示的“Mesh”工具栏用于执行网格划分及局部网格控制等操作。

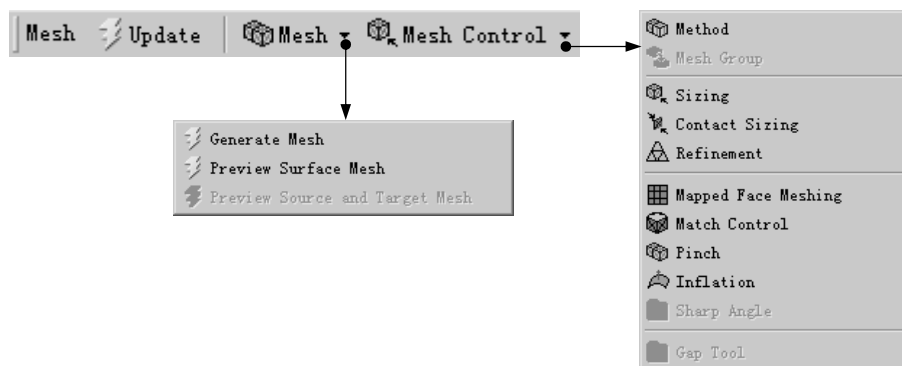


图 5.1.2 “网格划分”工具栏

5.1.3 网格划分方法介绍

ANSYS Meshing 按网格划分手段提供了自动划分法（Automatic）、扫描法（Sweep）、多域法（MultiZone）三种网格划分方法；按网格类型提供了四面体法（Tetrahedrons）、六面体法（Hex Dominant）等。利用以上网格划分方法可以对各种几何体进行网格划分。

1. 自动网格划分

自动网格划分（Automatic）为默认的网格划分方法，通常根据几何模型来自动选择合适的网格划分方法。设置四面体或扫描网格划分，取决于体是否可扫描。若可以，物体将被扫描划分网格；否则，将采用协调分片算法（Patch Conforming）划分四面体网格。

2. 四面体网格划分

四面体网格划分（Tetrahedrons）方法可以对任意几何体划分四面体网格，在关键区域可以

使用曲率和近似尺寸功能自动细化网格，也可以使用膨胀细化实体边界附近的网格；但是，在同样的求解精度情况下，四面体网格的单元和节点数高于六面体网格，会占用计算机更大的内存，求解速度和效率不如六面体网格。四面体网格划分包括以下两种算法。

(1) 协调分片算法 (Path Conforming)。该方法基于 TGrid 算法，先生成面网格，然后生成体网格。

- ◆ 在默认设置时，会考虑几何模型所有的边、面等几何尺寸较小的特征。
- ◆ 在多体部件中可以结合扫掠方法生成共形的混合四面体、棱柱和六面体网格。
- ◆ 用虚拟拓扑工具可以简化 CAD 模型的较小特征，放宽分片限制。
- ◆ 选用协调分片算法的方法：在图 5.1.3 所示的“Details of ‘Patch Independent’ -Method”对话框中 **Definition** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **Tetrahedrons** 选项，在 **Algorithm** 下拉列表中选择 **Patch Independent** 选项。

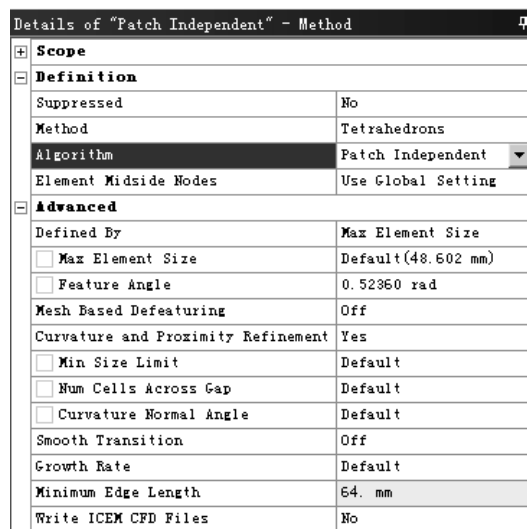


图 5.1.3 “Details of ‘Patch Independent’ -Method” 对话框

(2) 独立分片算法 (Patch Independent)。该方法基于 ICEM CFD Tetra 四面体或棱柱的 Octree 方法，先生成体网格，然后映射到点、边和面创建表面网格。可以对 CAD 模型的长边等进行修补，更适合对质量差的 CAD 模型划分网格。

- ◆ 机械分析适用于协调分片算法划分的网格，电磁分析或流体分析适用于协调分片算法或独立分片算法划分的网格，显式动力学适用于有虚拟拓扑的协调分片算法或独立分片算法划分的网格。
- ◆ 选用独立分片算法的方法：主要操作与协调分片算法一样，另外，在图 5.1.4 所示的“Details of ‘Patch Independent’ -Method”对话框中的 **Advanced** 区域还有清除

网格特征的附加设置 (**Mesh Based Defeaturing**)、基于曲率和相邻的细化设置 (**Curvature and Proximity Refinement**)、平滑过渡选项 (**Smooth Transition**) 等；当在 **Mesh Based Defeaturing** 下拉列表中选择 **On** 时，在 **Defeaturing Tolerance** 文本框中输入清除特征容差，则清除容差范围内的小特征。该划分方法也可写出 ICEM CFD 文件 (**Write ICEM CFD Files**)。

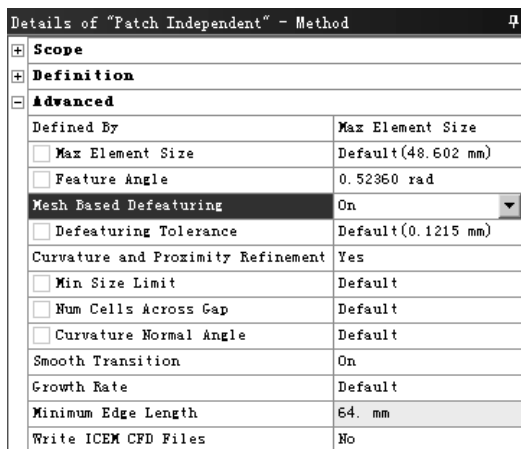


图 5.1.4 “Details of ‘Patch Independent’ -Method” 对话框

3. 六面体网格划分

六面体网格划分 (**Hex Dominant**) 主要采用六面体单元来划分，形状复杂的模型可能无法划分成完整的六面体网格，这时会出现缺陷。ANSYS Meshing 会自动处理这个缺陷，并用楔形单元、金字塔单元或四面体单元填充处理。

六面体网格划分首先生成四边形主导的面网格，然后按照需要填充三角形面网格，之后对内部容积大的几何体和可扫掠的体进行六面体网格划分，不可扫掠的部分用楔形或四面体单元补充。但是，最好避免楔形和四面体单元出现。六面体网格划分方法常用于受弯曲或扭转的结构、变形量较大的结构分析中。在同样求解精度下，可以使用较少的六面体单元数量来进行求解。

4. 扫掠网格划分

扫掠网格划分 (**Sweep**) 可以得到六面体网格，也可能包含楔形单元。使用此方法的几何体必须是可扫掠体，其他实体采用四面体单元划分。一个扫掠体需满足：包含不完全闭合空间，至少有一个边或闭合面连接从源面到目标面的路径，没有硬性约束定义以致在源面和目标面相应边上有不同的分割数。扫掠划分方法还包括了一种薄扫掠方法 (**Thin Sweep Method**)，此方法

与直接进行扫掠类似，但也有其特点，在某种情况下可以弥补直接扫掠划分网格的不足。

5. 多域网格划分

多域划分 (MultiZone) 可以自动将几何体分解成映射区域和自由区域，可以自动判断区域并生成纯六面体网格，对不满足条件的区域采用更好的非结构化网格划分。多域网格划分适用于扫掠方法不能分解的几何体。此方法基于 ICEM CFD Hexa 模块，非结构化区域可由六面体主导 (或以六面体为核心)，也可以四面体来划分网格。

6. Cut Cell 网格划分

Cut Cell 网格划分采用自动修边的独立分片网格划分方法，可以对复杂的三维几何体自动生成以六面体为主的通用网格。这是为 ANSYS FLUENT 设计的笛卡儿网格划分方法，主要用于对单体或多体的流体域进行网格划分，不能划分装配体，也不能与其他网格划分方法混合使用，支持边界层。使用 Cut Cell 网格划分方法，需要在图 5.1.5 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框中进行如下设置。

(1) 在 **Defaults** 区域的 **Physics Preference** 下拉列表中选择 **CFD** 选项，在 **Solver Preference** 下拉列表中选择 **Fluent** 选项。

(2) 在 **Assembly Meshing** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **CutCell** 选项。在 **Feature Capture** 下拉列表中选择 **Feature Angle** 选项，设置特征捕捉角度，程序默认捕捉角为 40° ，可以设定更小的角度来捕捉更多特征。如捕捉角度设为 0，则捕捉所有 CAD 特征。在 **Tessellation Refinement** 下拉列表中选择 **Absolute Tolerance** 选项，设置棋盘形镶嵌的错位技术细分网格，可由程序控制或指定绝对容差 (**Absolute Tolerance**) 进行网格细分，这部分是 ANSYS Workbench14.0 新增的内容。

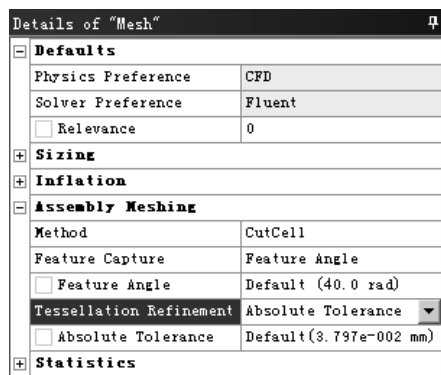


图 5.1.5 “Details of ‘Mesh’”对话框

7. 面网格划分

ANSYS 网格划分平台可以对 DM 或其他用 CAD 软件创建的面体进行网格划分，用于 2D

有限元分析。主要可划分为三角形或四边形的网格，对网格的控制没有三维几何体划分网格负责，主要是对边和映射面的控制，这部分比较简单，因此不再叙述。


5.1.4 ANSYS Workbench 网格划分一般流程

在 ANSYS Workbench 中进行网格划分的流程如下：

- ◆ 确定物理场和网格划分方法。
- ◆ 设置全局网格参数，对网格进行全局控制。
- ◆ 设置局部网格参数，对网格进行局部控制。
- ◆ 预览并划分网格。
- ◆ 检查网格质量，如有需要，调整网格设置并重新划分网格。

5.2 全局网格控制

全局网格控制通常用于整体网格划分的全局控制，包括网格基本物理场类型、网格单元尺寸、尺寸参数、膨胀参数及网格详细信息的查看等相关内容。

在网格划分平台界面的“Outline”窗口中单击  Mesh，弹出图 5.2.1 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框，用于对网格划分进行全局控制。

下面具体介绍网格划分及对网格划分进行全局控制的相关操作。

5.2.1 划分网格

下面以图 5.2.2 所示的模型为例，介绍自动网格划分的一般操作。

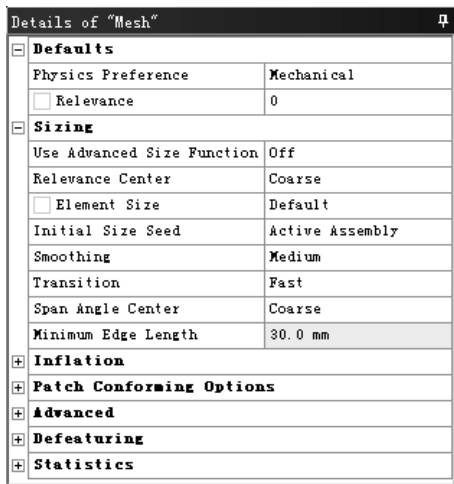


图 5.2.1 “Details of ‘Mesh’”对话框

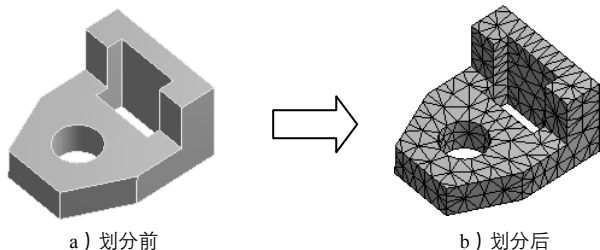


图 5.2.2 划分网格

步骤 01 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Mesh** 选项，新建一个“Mesh”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Mesh”项目列表中右击 **Geometry**，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，选择导入文件“D:\ansc14.0\work\ch05.02\mesh-divide.stp”。

步骤 03 进入 ANSYS 专有网格划分平台。在“Mesh”项目列表中双击 **Mesh**，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 04 划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Generate Mesh** 命令，系统自动划分网格，结果如图 5.2.2b 所示。



说明

在 ANSYS Workbench 中，对于导入的几何体，系统会根据几何体结构与尺寸大小自动确定网格大小尺寸，但是系统自动确定的网格尺寸一般比较粗糙，会影响最终的求解结果精度，所以，在分析中为了提高求解精度，一般要对网格进行全局或局部控制。

如果需要清除几何体中的网格，可以在“Outline”中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Clear Generated Data** 命令，在弹出的图 5.2.3 所示的“ANSYS Workbench”对话框中单击 **是(Y)** 按钮即可。

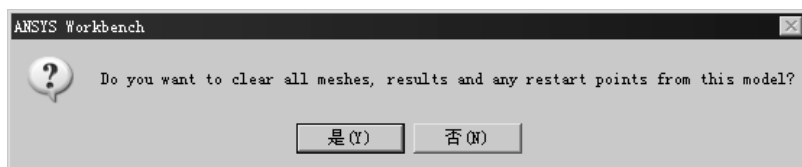


图 5.2.3 “ANSYS Workbench”对话框

5.2.2 全局网格参数设置

1. 基本参数设置 (Defaults)

图 5.2.4 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框 (一) 中的 Defaults 区域主要用于设置网格基本参数，包括 **Physics Preference** 下拉列表和 **Relevance** 文本框。

划分网格之前必须首先确定物理场类型。窗口中的 **Physics Preference** 下拉列表用于设置网格物理场类型，包括结构场、流场、显示动力学和电磁场；选择不同的场，其具体参数设置是不一样的。

当物理场类型确定后，单击 **Relevance** 后的文本框，调节文本框中的滑块，用于控制网格划分总体质量。越往负值方向网格越粗糙，质量越差；越往正值方向网格越细致，质量越高，如

图 5.2.5 所示。

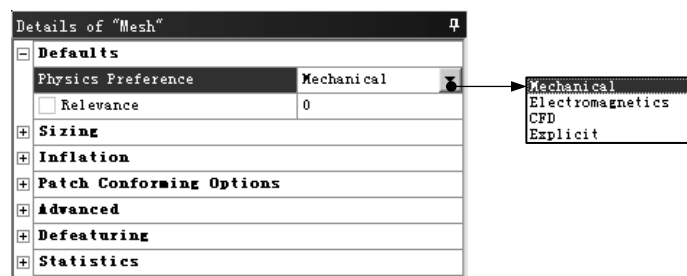


图 5.2.4 “Details of ‘Mesh’” 对话框（一）

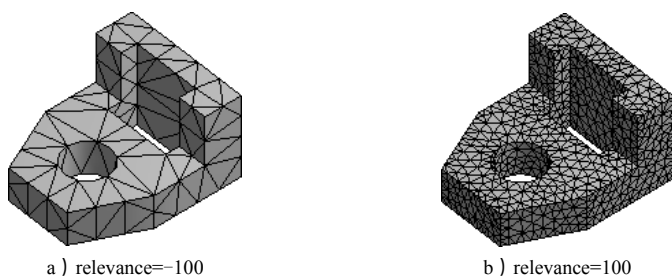


图 5.2.5 控制网格划分总体质量

2. 网格尺寸设置 (Sizing)

在图 5.2.6 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框（二）中，**Sizing**区域主要用于设置网格划分过程中网格尺寸的控制方式及相关参数。下面具体介绍该区域中的相关设置。

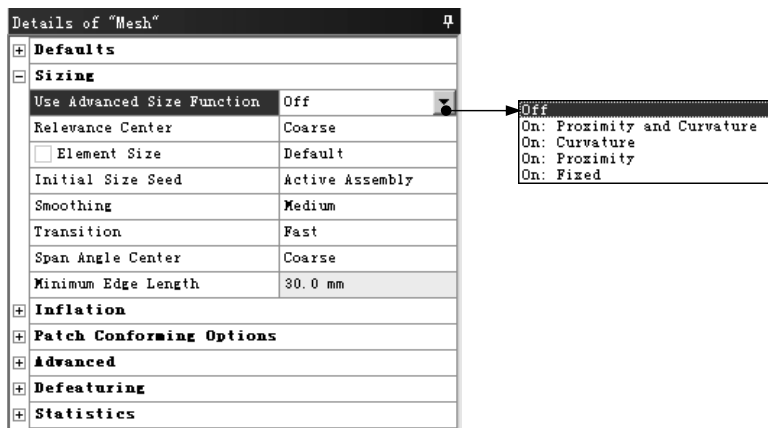


图 5.2.6 “Details of ‘Mesh’” 对话框（二）

对话框中的 **Use Advanced Size Function** 下拉列表主要用于控制曲线或曲面在曲率较大地方的网格细化方式。

图 5.2.6 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框（二）中的部分选项说明如下。

- ◆ **Use Advanced Size Function** 下拉列表：用于设置尺寸函数类型。
 - **Off** 选项：选中该选项，系统先从边缘开始划分网格，然后在曲率较大处细化边缘网格，接下来产生面网格，最后产生体网格。
 - **On: Proximity and Curvature** 选项：选中该选项，系统在划分网格时，同时具有 Proximity 和 Curvature 两者的特点，但所耗的时间也长。
 - **On: Curvature** 选项：若选中该选项，则系统根据曲率法向角度（**Curvature Normal Angle**）来确定细化边和曲面处的网格单元尺寸大小。
 - **On: Proximity** 选项：选中该选项，用于控制模型临近区网格生成，主要适用于结构窄薄处网格的生成。
 - **On: Fixed** 选项：根据已设定的单元大小划分网格，系统不会根据曲率大小自动细化网格。
- ◆ **Relevance** 选项和 **Relevance Center** 下拉列表：两者组合使用，可以得到不同细化程度的网格效果。
 - **Relevance** 选项：用于设置网格精度，数值从-100 至+100，表示网格精度由粗糙到精细。
 - **Relevance Center** 下拉列表：用于设置网格细化程度，包括 **Coarse**（稀疏）、**Medium**（中等）和 **Fine**（细化）三个选项。
- ◆ **Element Size**（单元尺寸）文本框：可输入网格尺寸，以控制网格划分尺寸。
- ◆ **Initial Size Seed**（初始化尺寸参考）下拉列表：用于设置网格初始化尺寸参考对象范围。包括 **Active Assembly**（激活的装配体）、**Full Assembly**（所有装配体）和 **Part**（零件）三个选项。
 - **Active Assembly** 选项：选中该选项，系统以激活的装配体的网格尺寸作为网格初始化尺寸参考。
 - **Full Assembly** 选项：系统以整个装配体的网格尺寸作为网格初始化尺寸参考。
 - **Part** 选项：系统以指定零件的网格尺寸作为网格初始化尺寸参考。
- ◆ **Smoothing**（平滑度）下拉列表：用于设置平滑度，它通过移动网格的节点和单元的节点位置来改进网格质量，其中包括 **Low**、**Medium** 和 **High** 三个选项。
 - **Low** 选项：主要应用于结构计算。
 - **Medium** 选项：主要用于流体动力学和电磁场计算，即 CFD 和 Emag。

- **High** 选项：主要用于显示动力学计算，即 Explicit。
- ◆ **Transition**（过渡）下拉列表：用于设置过渡，控制邻近单元的增长比。其中包括 **Fast**（快速）和 **Slow**（慢速）两个选项。
 - **Fast** 选项：在 Meshing 和 Emag 网格中产生网格过渡。
 - **Slow** 选项：在 CFD 和 Explicit 网格中产生网格过渡。
- ◆ **Span Angle Center**（跨度中心角）下拉列表：用于设置基于边的细化的曲度目标，网格在弯曲区域细分，直到单独单元跨越这个角，包括 **Coarse**（稀疏）、**Medium**（中等）和 **Fine**（细化）三个选项。
 - **Coarse** 选项：角度范围 $-90^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。
 - **Medium** 选项：角度范围 $-75^{\circ} \sim 24^{\circ}$ 。
 - **Fine** 选项：角度范围 $-36^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 。
- ◆ **Minimum Edge Length**（最小单元边长）文本框：用于设置网格划分的最小单元边长。

3. 膨胀设置（Inflation）

图 5.2.7 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框中的 **Inflation** 区域主要用于对网格进行膨胀层设置。

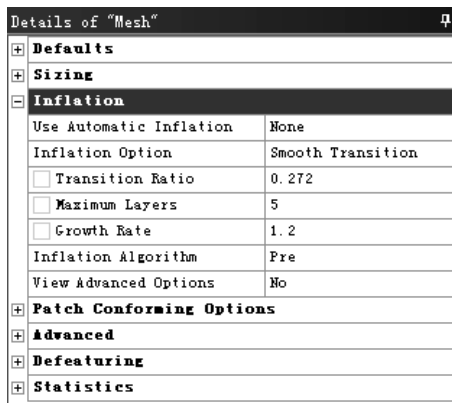


图 5.2.7 “Details of ‘Mesh’”对话框（三）

图 5.2.7 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框（三）中部分选项说明如下。

- ◆ **Use Automatic Inflation**（使用自动控制膨胀层）下拉列表：它提供以下 3 种方式。
 - **None**（无）选项：为默认值，适用于局部网格控制手动设置。
 - **Program Controlled**（程序化控制）选项：在程序化控制里所有面无命名选项，共享体间没有内部面。
 - **All Faces in Chosen Named Selection**（以命名选择所有面）选项：可对定义命名选

择的一组面生成膨胀层。

- ◆ **Inflation Option** (膨胀选项) 下拉列表: 除此之外膨胀还有以下 5 种方式。
 - **Smooth Transition** (平滑过渡) 选项: 在邻近层之间保持平滑的体积增长率, 其设置对于二维分析和四面体网格划分是默认的。
 - **Total Thickness** (总厚度) 选项: 创建常膨胀层, 其第一层和下列每一层膨胀的厚度是常量。用 **Number of Layers**、**Growth Rate** 和 **Maximum Thickness** 的参数来控制生成的膨胀网格。
 - **First Layer Thickness** (第一层厚度) 选项: 创建常膨胀层, 其第一层和下列每一层膨胀的厚度是常量。用 **First Layer Height**、**Maximum Layers** 和 **Growth Rate** 的参数来控制生成的膨胀网格。
 - **First Aspect Ratio** (第一层纵横比) 选项: 指定从基础层拉伸的纵横比来控制膨胀层的高度。
 - **Last Aspect Ratio** (最后层纵横比) 选项: 利用第一层的高度值、最高层值及纵横比来控制膨胀层。
- ◆ **Transition Ratio** (平滑比率) 文本框: 程序默认的值 0.272, 用户可以根据需要对其进行更改。
- ◆ **Maximum Layers** (最大层数) 文本框: 程序默认的最大层数为 5, 用户可以根据需要对其进行更改。
- ◆ **Growth Rate** (生长速度) 文本框: 相邻两侧网格中内层与外层的比例, 默认值为 1.2, 用户可以根据需要对其进行更改。
- ◆ **Inflation Algorithm** (膨胀层算法) 下拉列表: 包括 **Pre** (前处理) 和 **Post** (后处理) 两种方法。
 - **Pre** (前处理) 选项: 基于 TGrid 算法, 为所有物理类型的默认设置。
 - **Post** (后处理): 基于 ICEM CFD 算法, 使用一种在四面体网格生成后作用的后处理技术, 只对 Patching Conforming 和 Patch Independent 四面体网格有效。
- ◆ **View Advanced Options** (高级选项窗口) 选项: 设置更高级的用法。

4. 网格高级参数设置 (Advanced)

图 5.2.8 所示的 “Details of ‘Mesh’” 对话框 (四) 中的 **Advanced** 区域主要用于设置网格划分高级参数。

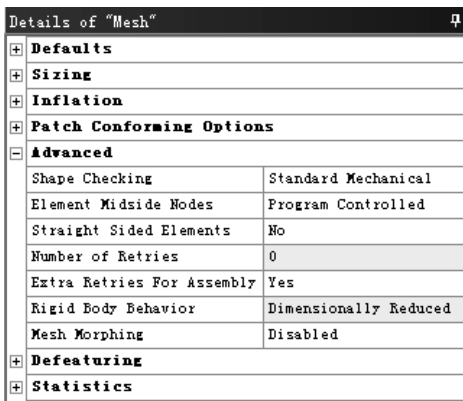


图 5.2.8 “Detail of ‘Mesh’” 对话框（四）

- ◆ **Shape Checking**（形状检查）下拉列表：针对于不同物理场有不同的形状检查控制，它包括以下几种方式。
 - **Standard Mechanical**（标准结构计算网格形状）选项：适用于线性网格划分。
 - **Aggressive Mechanical**（改进的结构计算网格形状）选项：适用于大变形及材料非线性网格划分。
 - **Electromagnetics**（电磁学计算网格形状）选项：其设置应用于电磁学分析。
 - **CFD**（流体动力学计算网格形状）选项：其设置应用于流体分析。
 - **Explicit**（显示动力学计算网格形状）选项：其设置应用于显示动力学分析。
 - **None**（无）选项：对网格划分不进行形状检查。
- ◆ **Element Midside Nodes**（单元中间节点）下拉列表：控制网格增加是否有中间节点，它包括以下几种方式。
 - **Program Controlled**（默认程序控制）选项：系统自动控制网格的中间节点。
 - **Dropped**（去掉）选项：对于面体或梁模型，识别为 Dropped（无中间节点，线性单元）。
 - **Kept**（保留）选项：对于实体或 2D 模型，识别为 Kept（有中间节点，二次单元）。
- ◆ **Number of Retries**（重试次数）文本框：如果网格质量差，可尝试重新精细划分网格。
- ◆ **Mesh Morphing**（网格变形）文本框：设置是否允许网格变形。其中包括 **Disabled**（允许）和 **Enabled**（不允许）两个选项。

5.2.3 全局网格参数设置综合应用

对于图 5.2.9 所示的零件模型，从结构上看，有些部位比较狭窄，存在多处圆弧结构，在划分网格时需要对其进行局部细化控制，才能够保证网格质量，提高分析求解精度，下面具体介绍使用全局网格参数控制方法对该零件几何体进行网格划分的操作方法，最终网格划分结果如图 5.2.10 所示。

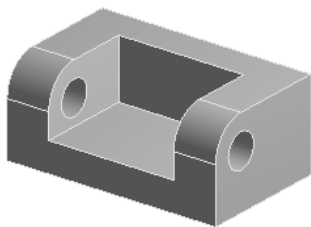


图 5.2.9 零件模型

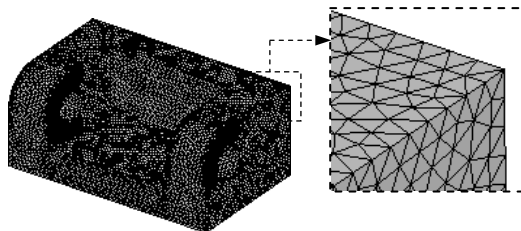


图 5.2.10 网格划分结果

步骤 01 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Mesh** 选项，新建一个“Mesh”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Mesh”项目列表中右击 **Geometry**，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，选择文件“D:\ansc14.0\work\ch05.02\mesh-adv.stp”。

步骤 03 进入 ANSYS 专有网格划分平台。在“Mesh”项目列表中双击 **Mesh**，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 04 初步划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Generate Mesh** 命令，系统划分网格，结果如图 5.2.11 所示。

步骤 05 设置全局网格控制参数。

(1) 对网格参数进行初步修改。在“Details of ‘Mesh’”对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，在 **Element Size** 文本框中输入数值 10.0mm；单击 **Update** 按钮，此时网格结果如图 5.2.12 所示。

(2) 对网格参数进行精确设置。在图 5.2.13 所示的“Details of ‘Mesh’”对话框的 **Use Advanced Size Function** 下拉列表中选择 **On: Proximity and Curvature** 选项，在 **Span Angle Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，在 **Curvature Normal Angle** 文本框中输入数值 60°，在 **Proximity Accuracy** 文本框中输入数值 0.2，在 **Num Cells Across Gap** 文本框中输入数值 8，在 **Min Size** 文本框中输入数值 0.06，在 **Proximity Min Size** 文本框中输入数值 0.06，在 **Max Face Size** 文本框中输入数值 5，在 **Max Size** 文本框中输入数值 10，在 **Growth Rate** 文本框中输入数值 1.5，其他参数采用系统默认设置。

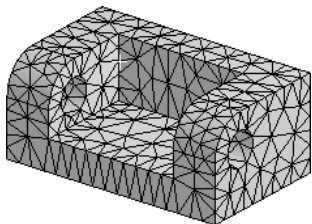


图 5.2.11 初步划分网格

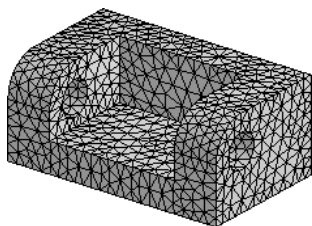


图 5.2.12 对网格参数进行初步修改后的结果

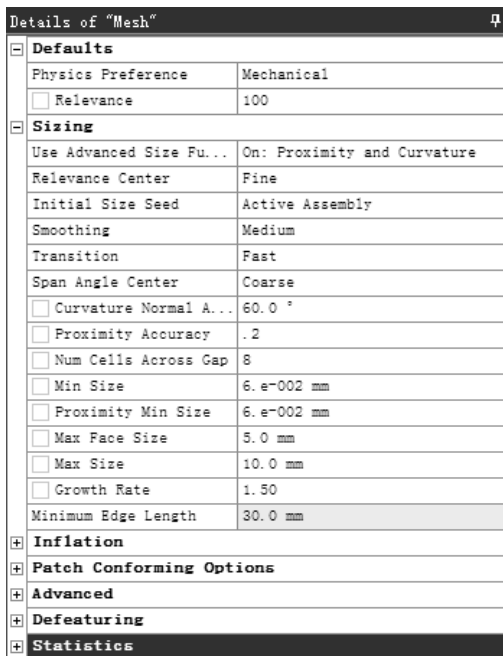
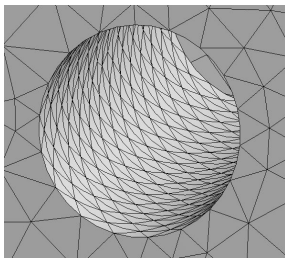


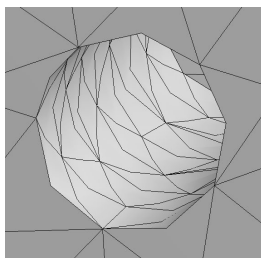
图 5.2.13 “Details of ‘Mesh’”对话框

图 5.2.13 所示 “Details of ‘Mesh’” 对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Curvature Normal Angle** 文本框 (曲率法向角度): 用于设置曲率法向角度参数, 角度值越小, 在曲率较大部位的网格被划分得越细致。设置该参数对网格划分的影响如图 5.2.14 所示。



a) Angle=20°



b) Angle=75°

图 5.2.14 不同 Curvature Normal Angle 参数下的效果

- ◆ **Proximity Accuracy** 文本框 (近接精度): 用于设置网格划分的近接精度参数。
- ◆ **Num Cells Across Gap** 文本框 (单元交叉间隙数): 用于设置单元交叉间隙参数, 值越大, 在结构近接处的网格被划分得越细致。设置该参数对网格划分的影响如图 5.2.15 所示。
- ◆ **Min Size** 文本框 (最小尺寸): 用于设置单元最小尺寸值。
- ◆ **Proximity Min Size** 文本框 (最小近接尺寸): 用于设置单元最小近接尺寸值。

- ◆ **Max Face Size** 文本框 (最大面尺寸): 用于设置最大面尺寸值。
- ◆ **Max Size** 文本框 (最大尺寸): 用于设置单元最大尺寸值。

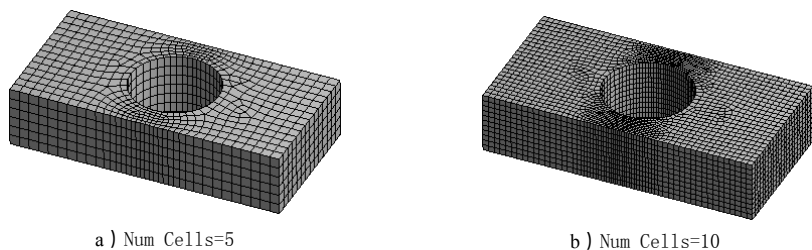


图 5.2.15 不同 Num Cells Across Gap 参数下的效果

步骤 06 更新网格。单击 **Update** 按钮, 更新网格, 结果如图 5.2.16 所示。

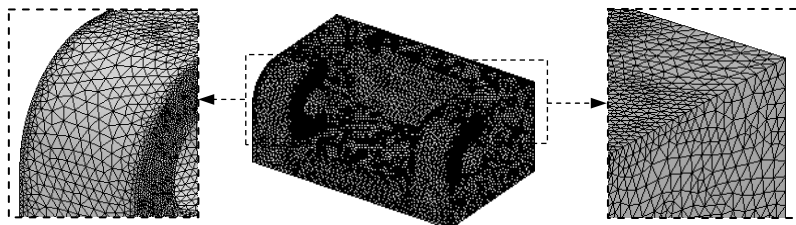


图 5.2.16 网格划分结果

5.3 局部网格控制

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击 **Mesh**, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** 命令, 弹出图 5.3.1 所示的子菜单, 主要用于对网格进行局部控制, 下面具体介绍各种网格局部控制的操作方法。

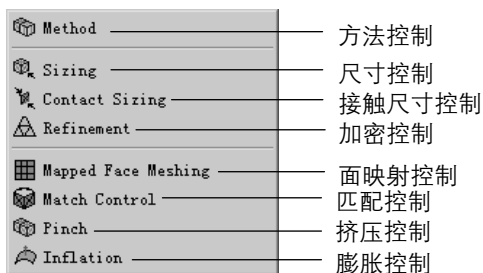




图 5.3.1 网格局部控制子菜单

5.3.1 方法控制

应用方法控制主要有五种方法: 自动网格划分法 (Automatic)、四面体网格划分法 (Tetrahedrons)、六面体网格划分法 (Hex Dominant)、扫掠法 (Sweep) 和多域法 (MultiZone)。

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击  Mesh，在弹出的快捷菜单中选择 Insert →  Method 命令，弹出图 5.3.2 所示的“Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框，用于对网格进行各种方法控制，下面具体介绍其操作过程。

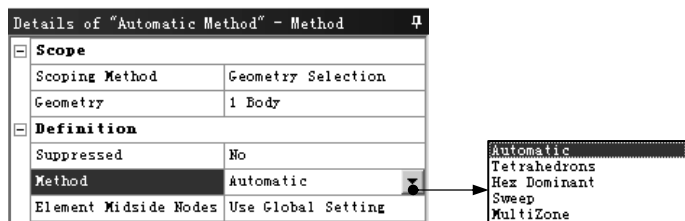







图 5.3.2 “Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框

1. 自动网格划分（Automatic）



自动网格划分法就是在四面体划分与扫掠划分之间进行自动切换，其过程完全取决于划分的几何体是否被扫掠。一般来说，当几何体不规则（即未能被扫掠）时，系统就自动产生四面体网格。反之，当几何体规则（即能被扫掠）时，系统就会产生六面体网格。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 File →  Open... 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch05.03\automatic.wbpj”，在项目列表中双击  Model 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 02 选取命令。在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击  Mesh，在弹出的快捷菜单中选择 Insert →  Method 命令，弹出图 5.3.3 所示的“Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框。

步骤 03 定义划分对象。选取整个模型对象，在 Geometry 后的文本框中单击  Apply 按钮。

步骤 04 定义方法控制。在 Definition 区域的 Method 下拉列表中选择 Automatic 选项。

步骤 05 单击  Update 按钮，完成网格划分，单击  Mesh，查看结果，如图 5.3.4 所示。

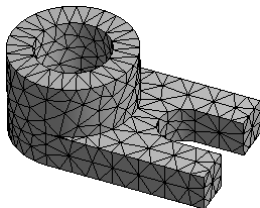
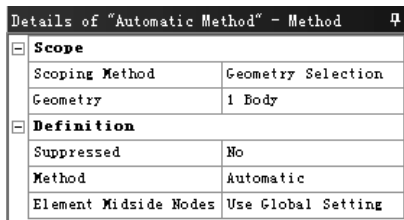


图 5.3.3 “Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框 图 5.3.4 自动网格划分（不规则）

图 5.3.3 所示的“Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Element Midside Nodes** 下拉列表：用于控制网格是否增加中间节点单元，主要有以下三种

方式。

- **Use Global Setting** 选项：使用全局设置。
- **Dropped** 选项：划分网格无中间节点，单元类型为线性单元，如图 5.3.5a 所示。
- **Kept** 选项：划分网格有中间节点，单元类型为二次单元，如图 5.3.5b 所示。

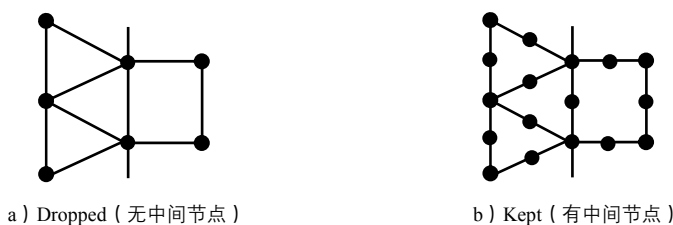


图 5.3.5 两种选项下的不同结果

2. 四面体网格划分 (Tetrahedrons)

在网格划分中，相对而言四面体网格划分是最简单的，其中又包含了“Patch Conforming”和“Patch Independent”两种运算方法，下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch05.03\tetrahedrons.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Method** 命令，弹出“Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框。

步骤 03 定义划分对象。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义方法控制。在 **Definition** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **Tetrahedrons** 选项。

步骤 05 定义法则。在 **Definition** 区域的 **Algorithm** 下拉列表中选择 **Patch Independent** 选项。

步骤 06 设置网格划分参数。在 **Advanced** 区域的 **Max Element Size** 文本框中输入数值 25.0mm，在 **Feature Angle** 文本框中输入数值 30，在 **Min Size Limit** 文本框中输入数值 12.0mm，其他参数设置如图 5.3.6 所示。



对话框中 **Feature Angle** 文本框参数单位默认的可能是 rad，此处需要将单位设置成度，选择 **Units** → **Degrees** 命令，可以完成该操作。

步骤 07 单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，查看结果，如图 5.3.7 所示。

图 5.3.6 所示的“Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Algorithm** 下拉列表：用于控制网格划分的算法，主要包括以下两种算法。

- **Patch Conforming** 选项：在划分网格过程中依次按照几何体的边、面、体的顺序进行划分，同时，充分考虑了几何体上的面及边界，包括边界层上网格的设置等（图 5.3.8a）。主要用于比较好及较简洁的几何体。
- **Patch Independent** 选项：在划分网格过程中依次按照几何体的体、面、边的顺序进行划分，主要用于比较差及较复杂的几何体；几何体上的网格面及边界等的影响通常可能被忽略，即粗糙的网格可能会忽略几何体表面的细节，如图 5.3.8b 所示。

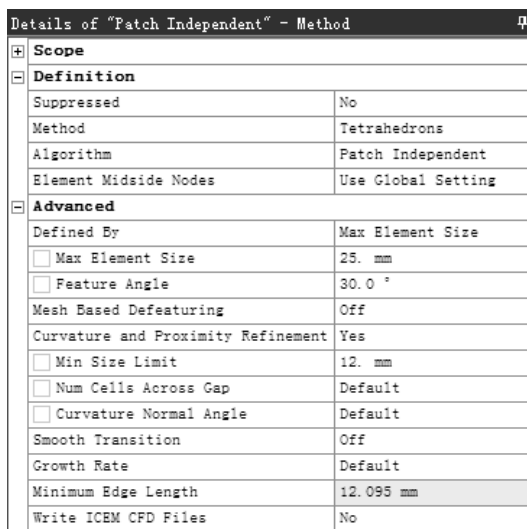


图 5.3.6 “Detail of ‘Patch Independent Method’ -Method” 对话框

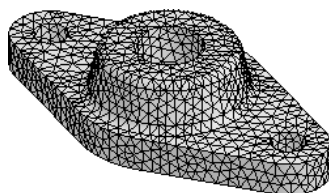
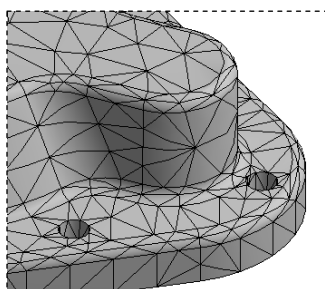
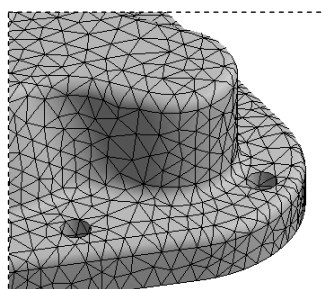


图 5.3.7 四面体网格划分结果



a) “Patch Conforming” 运算



b) “Patch Independent” 运算

图 5.3.8 两种算法效果对比

- ◆ **Defined By** 下拉列表：用于控制网格划分细化方式，主要有以下两种方式。
 - **Max Element Size** 选项：使用最大单元尺寸对网格进行细化，此时在对话框的 **Max Element Size** 文本框中输入最大单元尺寸值。
 - **Approx number of Elements per Part** 选项：根据给定的每一个几何体近似的总单元

数来划分网格,此时在 **Approx number of Elements per Part** 对话框中输入总的单元数。

◆ **Write ICEM CFD Files** 下拉列表: 用于控制 ICEM CFD 文件生成。

- **No** 选项: 选中该选项, 不生成 ICEM CFD 文件。
- **Yes** 选项: 选中该选项, 生成 ICEM CFD 文件。
- **Interactive** 选项: 选中该选项, 以交互式方式生成 ICEM CFD 文件。
- **Batch** 选项: 选中该选项, 以批处理方式生成 ICEM CFD 文件。

3. 六面体网格划分 (Hex Dominant)

六面体网格划分中, 先在表面生成四边形, 然后根据需要填充四面体和锥体, 推荐用于不能扫掠的实体 (薄壁或外形复杂的实体除外)。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansys14.0\work\ch05.03\hex-dominant.wbpj”, 在项目列表中双击 **Mesh** 选项, 进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Method** 命令, 弹出 “Details of ‘Hex Dominant Method’ -Method” 对话框。

步骤 03 定义划分对象。选取整个模型对象, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义方法控制。在 **Definition** 区域 **Method** 下拉列表中选择 **Hex Dominant** 选项, 其他参数设置如图 5.3.9 所示。

步骤 05 单击 **Update** 按钮, 完成网格划分, 单击 **Mesh**, 结果如图 5.3.10 所示。

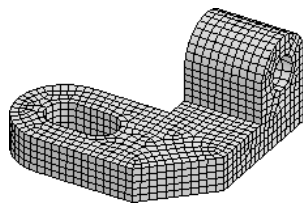
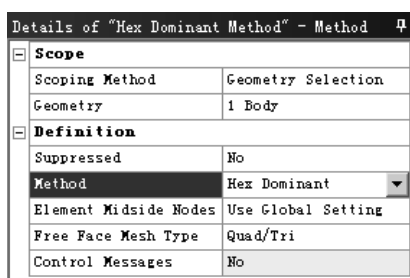


图 5.3.9 “Details of ‘Hex Dominant Method’ -Method” 对话框 图 5.3.10 六面体网格划分结果

图 5.3.9 所示的 “Details of ‘Hex Dominant Method-Method” 对话框中部分选项说明如下。

◆ **Free Face Mesh Type** 下拉列表: 用于控制自由面网格单元类型, 主要包括以下两种。

- **Quad/Tri** 选项: 选中该选项, 自由面网格单元包括四边形和三角形。
- **All Quad** 选项: 选中该选项, 自由面网格单元只有四边形。

4. 扫掠法 (Sweep)

扫掠法主要是将可扫掠的几何体（规则几何体）划分为六面体网格或棱柱体网格，可手动选择初始面及目标面，也可以定义尺寸及间隔比例。下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\sweep.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Method** 命令，弹出 “Details of ‘Hex Dominant Method’ -Method” 对话框。

步骤 03 定义划分对象。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义方法控制。在 **Definition** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **Sweep** 选项。

步骤 05 定义源面和目标面。在 **Src/Trg Selection** 下拉列表中选择 **Manual Source and Target** 选项，单击以激活 **Source** 后的文本框，选取图 5.3.11 所示的模型表面为源面，单击 **Apply** 按钮；单击以激活 **Target** 后的文本框，选取图 5.3.11 所示的模型表面为目标面，单击 **Apply** 按钮。

步骤 06 定义面网格类型。在 **Free Face Mesh Type** 下拉列表中选择 **Quad/Tri** 选项，其他参数设置如图 5.3.12 所示。

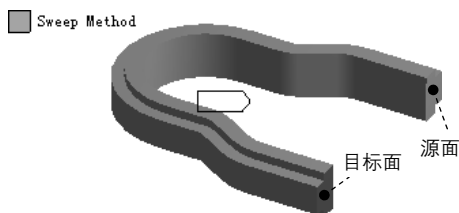


图 5.3.11 定义源面和目标面

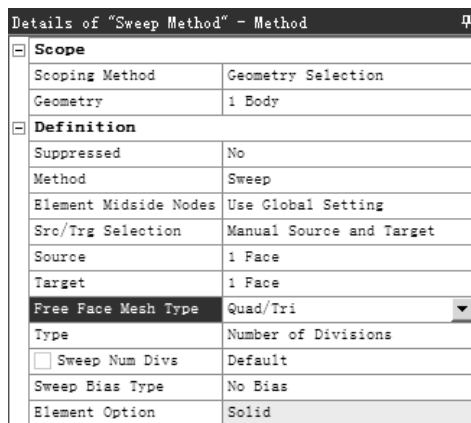


图 5.3.12 “Details of ‘Sweep Method’ -Method” 对话框

步骤 07 单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，其结果如图 5.3.13 所示。

图 5.3.12 所示的 “Details of ‘Sweep Method’ -Method” 对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Src/Trg Selection** 下拉列表：用于设置源面和目标面的选择方式，主要包括以下几种。
 - **Automatic** 选项：选中该选项，系统自动选取源面和目标面。
 - **Manual Source** 选项：选中该选项，需要手动选取源面，系统自动选取目标面。

- **Manual Source and Target**选项：选中该选项，手动选取源面和目标面。
- **Automatic Thin**选项：选中该选项，自动创建薄壳扫掠网格。
- **Manual Thin**选项：选中该选项，手动创建薄壳扫掠网格。
- ◆ **Free Face Mesh Type**下拉列表：与六面体网格划分工具中的该选项一样，同样用于控制自由面网格单元类型，比六面体网格划分工具中多了一项**All Tri**选项，可以全部划分成三角形类型。
- ◆ **Type**下拉列表：用于控制网格细化方式，主要包括以下两种方式。
 - **Element Size**选项：选中该选项，通过定义单元尺寸对网格进行细化，此时需要在 **Sweep Element Size**文本框中输入单元尺寸值。
 - **Number of Divisions**选项：选中该选项，定义边界单元段数对网格进行细化，此时需要在 **Sweep Num Divs**文本框中输入段数值。

5. 多域法 (MultiZone)

多域法主要运用于划分六面体网格。它本身具有几何体自动分解的功能，从而产生六面体网格，下面具体介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\multizone.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Method** 命令，弹出 “Details of ‘Automatic Method’ -Method” 对话框。

步骤 03 定义划分对象。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义方法控制。在 **Definition** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **MultiZone** 选项，其他参数设置如图 5.3.14 所示。

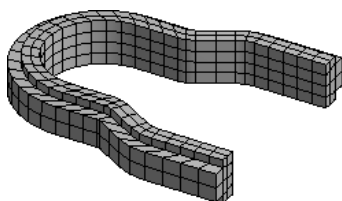


图 5.3.13 扫掠法网格划分结果

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone
Mapped Mesh Type	Hexa
Free Mesh Type	Not Allowed
Element Midside Nodes	Use Global Setting
Src/Trg Selection	Automatic
Source	Program Controlled
Advanced	
Mesh Based Defeaturing	Off
Minimum Edge Length	20. mm
Write ICEM CFD Files	No

图 5.3.14 “Details of ‘MultiZone Method’ -Method” 对话框




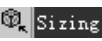
步骤05 单击  Update 按钮，完成网格划分，单击  Mesh，其结果如图 5.3.15 所示。

图 5.3.14 所示的“Details of ‘MultiZone Method’ -Method”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Mapped Mesh Type** 下拉列表：用于设置映射网格类型，主要包括以下几个选项。
 - **Hexa** 选项：选中该选项，映射类型为六面体。
 - **Hexa/Prism** 选项：选中该选项，映射类型为六面体和棱柱。
 - **Prism** 选项：选中该选项，映射类型为棱柱。
- ◆ **Free Mesh Type** 下拉列表：用于设置自由网格类型，主要包括以下四种类型。
 - **Not Allowed** 选项：选中该选项，系统自动设置。
 - **Tetra** 选项：选中该选项，定义网格类型为四面体网格类型。
 - **Hexa Dominant** 选项：选中该选项，定义网格类型以六面体为主导类型。
 - **Hexa Core** 选项：选中该选项，定义网格类型以六面体作为内部主导类型。

5.3.2 尺寸控制

尺寸控制对一般实体来说包括两种方法：局部尺寸控制和影响球控制，但是对曲面来说则多了一种边界分段控制的方法。

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击  Mesh，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** →  Sizing 命令，弹出图 5.3.16 所示的“Details of ‘Edge Sizing’ - Sizing”对话框，用于对网格进行各种尺寸控制。

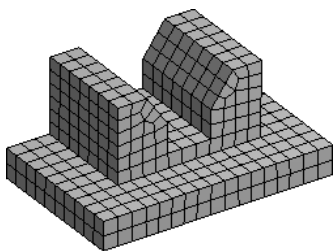


图 5.3.15 多域网格划分结果

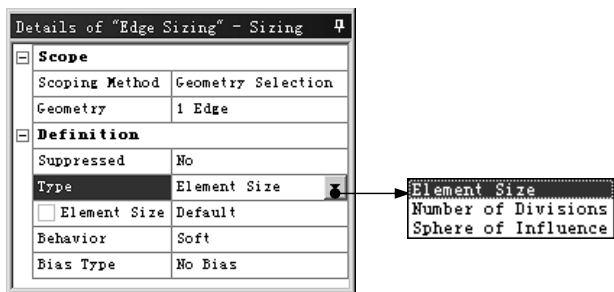

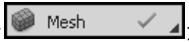


图 5.3.16 “Details of ‘Edge Sizing’ -Sizing”对话框

1. 局部尺寸控制 (Element Size)

局部尺寸控制用于设置单元尺寸，系统根据设置的单元尺寸对定义对象（点、边、面和实体）进行网格划分。下面以图 5.3.17 所示的模型为例，介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** →  Open... 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch05.03\element-size.wbpj”，在项目列表中双击  Mesh 选项，进入

ANSYS 专有网格划分平台。

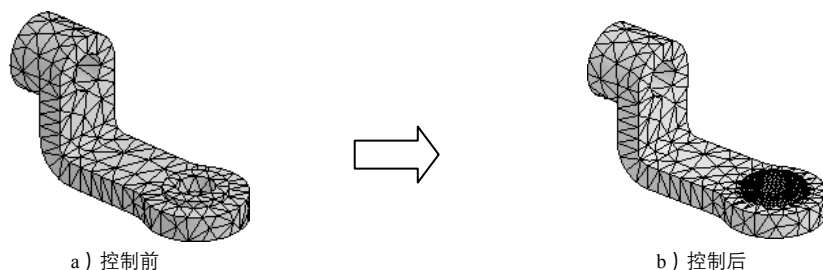


图 5.3.17 局部尺寸控制网格划分

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中右击 Mesh，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → Sizing 命令，弹出“Details of ‘Face Sizing’ - Sizing”对话框。

步骤 03 选取控制对象。选取图 5.3.18 所示的模型表面为对象，并在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义尺寸控制类型。在 **Definition** 区域的 **Type** 下拉列表中选择 **Element Size** 选项。

步骤 05 定义单元尺寸。在 **Element Size** 文本框中输入数值 3.0mm，其他参数设置如图 5.3.19 所示。

步骤 06 单击 Update 按钮，完成网格划分，单击 Mesh，结果如图 5.3.17b 所示。

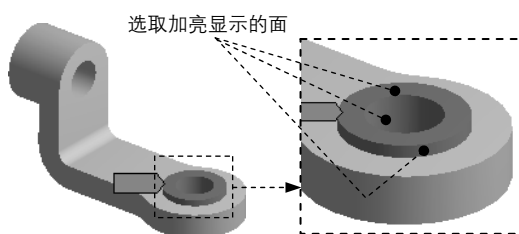


图 5.3.18 选取控制对象

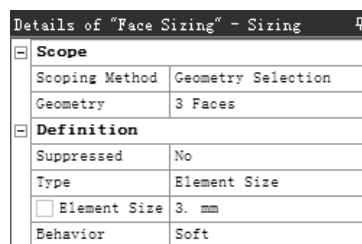


图 5.3.19 “Details of ‘Sizing’ -Sizing”对话框

图 5.3.19 所示的“Details of ‘Face Sizing’ -Sizing”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Behavior** 下拉列表：用于设置网格属性行为，主要包括以下两个选项。
 - **Soft** 选项：选中该选项，此处的设置可以被其他控制技术覆盖。
 - **Hard** 选项：选中该选项，此处的设置不会被其他任何技术覆盖。

2. 影响球控制 (Sphere of Influence)

在需要细化网格的位置定义影响球，并在与影响球相交的位置进行细化网格操作；其球体则用来设定单元的平均大小的范围，中心由坐标系定义（可先定义局部坐标系），所有采集到的实体都受影响。下面以图 5.3.20 所示的模型为例，介绍其具体操作过程。

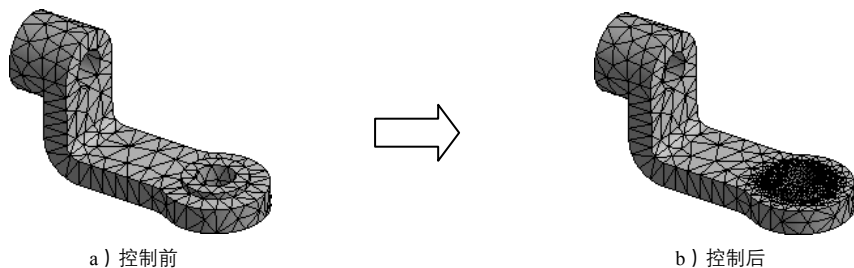


图 5.3.20 影响球控制划分网格

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\sphere-influence.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤02 选取命令。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Sizing** 命令，弹出“Details of ‘Body Sizing’ - Sizing”对话框。

步骤03 选取控制对象。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤04 定义尺寸控制类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Sphere of Influence** 选项。

步骤05 定义中心。在 **Sphere Center** 下拉列表中选择 **Plane4** 选项，此时模型如图 5.3.21 所示。

步骤06 定义球半径和单元尺寸。在 **Sphere Radius** 文本框中输入数值 30.0mm，在 **Element Size** 文本框中输入数值 3.0mm，其他各选项设置如图 5.3.22 所示。

步骤07 单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，其结果如图 5.3.20b 所示。

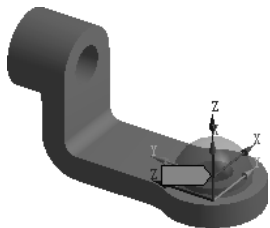


图 5.3.21 定义影响球参数

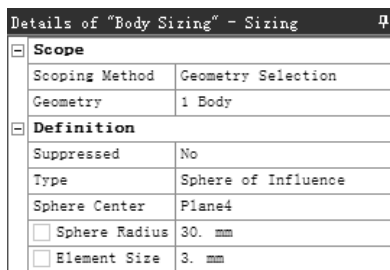


图 5.3.22 “Details of ‘Body Sizing’ -Sizing”对话框

3. 边界分段控制

用于设置单元段数，系统根据设置的单元段数对定义边进行网格划分。下面以图 5.3.23 所示的模型为例，介绍其操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\number-of-divisions.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

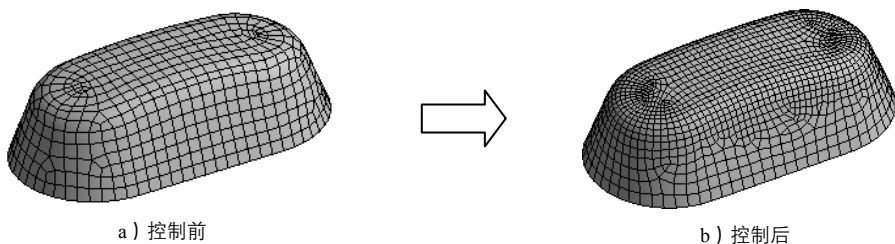


图 5.3.23 边界分段控制网格划分

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** ▶ **Sizing** 命令，弹出“Details of ‘Edge Sizing’ - Sizing”对话框。

步骤 03 选取控制对象。选取图 5.3.24 所示的两条模型边线为控制对象，并在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义尺寸控制类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Number of Divisions** 选项。

步骤 05 定义单元段数。在 **Number of Divisions** 文本框中输入数值 25。

步骤 06 定义行为。在 **Behavior** 下拉列表中选择 **Hard** 选项。其他参数设置如图 5.3.25 所示，采用系统默认设置。

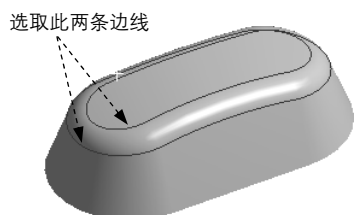


图 5.3.24 选取控制对象

Details of "Edge Sizing" - Sizing	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	4 Edges
[-] Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisions
Number of Divisions	25
Behavior	Hard
Bias Type	No Bias

图 5.3.25 “Details of ‘Edge Sizing’ -Sizing”对话框

步骤 07 单击 **Update** 按钮，更新网格划分，单击 **Mesh**，结果如图 5.3.23b 所示。

5.3.3 接触尺寸控制

接触尺寸控制用于装配体中接触区域的网格划分，它在接触面生成大小一致的尺寸单元。

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** ▶ **Contact Sizing** 命令，弹出图 5.3.26 所示的“Details of ‘Contact Sizing’ -Contact Sizing”对话框，用于对网格进行接触尺寸控制。

Details of "Contact Sizing" - Contact Sizing	
[-] Scope	
Contact Region	None
[-] Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	Please Define

Relevance
Element Size

图 5.3.26 “Details of ‘Contact Sizing’ - Contact Sizing”对话框

下面以图 5.3.27 所示的模型为例，介绍其操作过程。

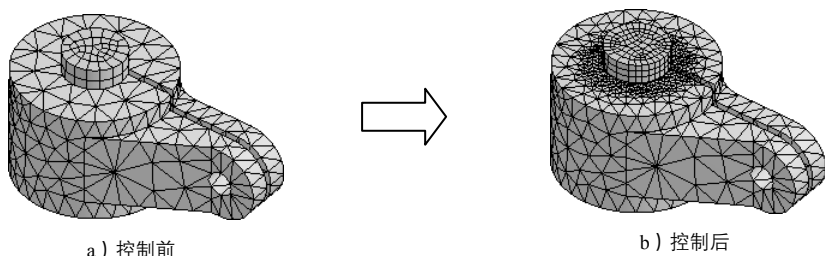


图 5.3.27 接触尺寸控制网格划分

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\contact-sizing.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**，在系统弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Contact Sizing** 命令，弹出 “Details of ‘Contact Sizing’ - Sizing” 对话框。

步骤 03 定义接触区域。在 **Scope** 区域的 **Contact Region** 下拉列表中选择 **Contact Region** 选项。

步骤 04 定义接触尺寸控制类型。在 **Type** 下拉列表中选择 **Element Size** 选项。

步骤 05 定义单元尺寸。在 **Element Size** 文本框中输入数值 1.5mm。

步骤 06 单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，结果如图 5.3.27b 所示。



当接触尺寸控制类型定义为 **Relevance** 时，在 **Relevance** 文本框中调节网格的质量。

5.3.4 加密网格控制

加密控制就是对初始网格使用全局或局部尺寸设置，然后单元在采集位置加密，加密系数为 1~3（最小值~最大值）。

在网格专有划分平台的 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Refinement** 命令，弹出图 5.3.28 所示的 “Details of ‘Refinement’ -Refinement” 对话框，用于对网格进行加密控制。

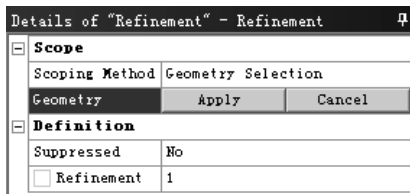


图 5.3.28 “Details of ‘Refinement’ -Refinement” 对话框

下面以图 5.3.29 所示的模型为例，介绍其操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\refinement.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，系统进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在 “Outline” 窗口中右击 **Mesh** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Refinement** 命令，弹出 “Details of ‘Refinement’ -Refinement” 对话框。

步骤 03 定义采集位置。选取图 5.3.30 所示的模型表面为对象，并在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

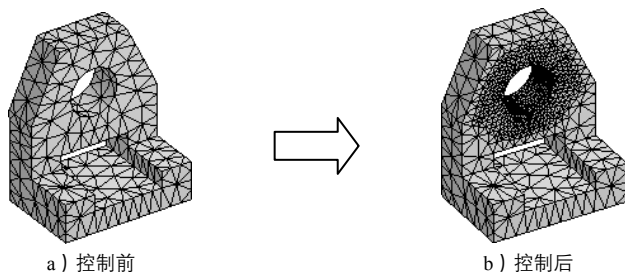


图 5.3.29 加密网格控制网格划分

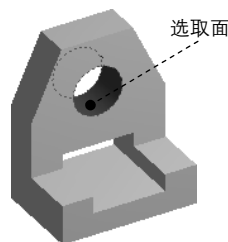


图 5.3.30 定义采集位置

步骤 04 定义加密系数。在 **Definition** 区域的 **Refinement** 文本框中输入数值 3。

步骤 05 单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，其结果如图 5.3.29b 所示。

5.3.5 面映射控制

面映射控制就是对映射的面进行网格划分，其特点是可以在面上划分结构网格，由于进行映射网格划分可以得到一致的网格，所以对计算求解是非常有利的。

在网格专有划分平台的 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Mapped Face Meshing** 命令，弹出图 5.3.31 所示的 “Details of ‘Mapped Face Meshing’ - Mapped Face Meshing” 对话框，用于对面映射进行控制。

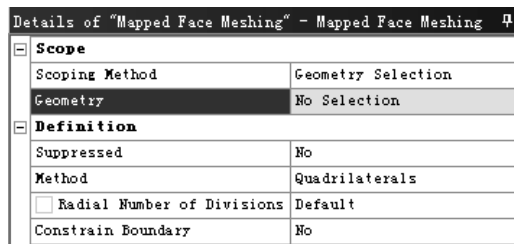


图 5.3.31 “Details of ‘Mapped Face Meshing’ - Mapped Face Meshing” 对话框

图 5.3.31 所示的 “Details of ‘Mapped Face Meshing’ - Mapped Face Meshing” 窗口中部分选

项说明如下。

- ◆ **Method** 下拉列表：设置形状类型（用于片体）。
 - **Quadrilaterals** 选项：选中该选项，系统尝试更多四边形，之后以三角形填补。
 - **Triangles: Best Split** 选项：选中该选项，系统会以全三角形填补。
- ◆ 当在 **Geometry** 中定义映射面后（无论是实体的还是片体的），“Details of ‘Mapped Face Meshing’ - Mapped Face Meshing” 对话框中均会出现图 5.3.32 所示的区域，其中包含 **Specified Sides**、**Specified Corners** 和 **Specified Ends** 三个选项。
 - **Specified Sides** 选项：用来指定 side vertex，其指定的点与通过内部节点的节点连线只有一条，如图 5.3.33a 所示。

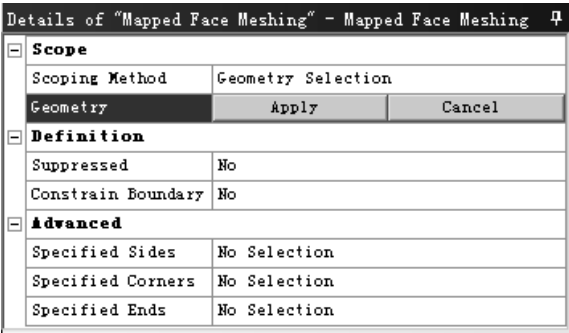


图 5.3.32 “Advanced” 区域

- **Specified Corners** 选项：用来指定 corner vertex，其指定的点与通过内部节点的节点连线只有两条，如图 5.3.33b 所示。
- **Specified Ends** 选项：用来指定 end vertex，其指定的点与通过内部节点的节点连线不存在，如图 5.3.33c 所示。

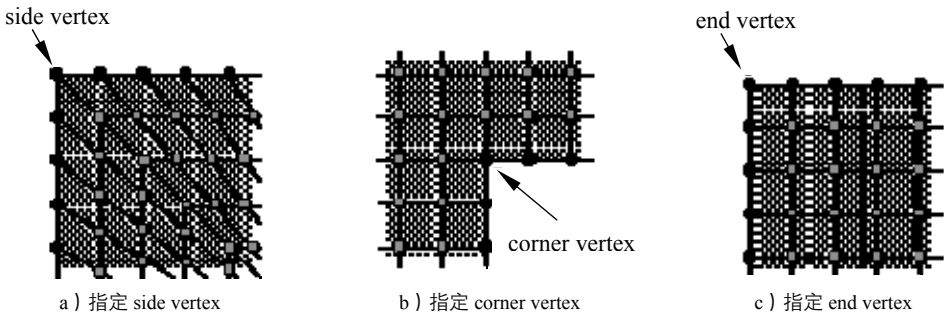




图 5.3.33 指定点

对于这三类点，总结起来其属性如表 4.3.1 所示。

表 4.3.1 点属性

点类型	过点网格线数目	相邻边夹角
end vertex	0	$0^{\circ} \sim 135^{\circ}$
side vertex	1	$136^{\circ} \sim 224^{\circ}$
corner vertex	2	$225^{\circ} \sim 314^{\circ}$

在实际网格划分过程中，面映射网格控制一般与其他局部网格控制方法并用才能够得到最佳网格效果。下面以图 5.3.34 所示的模型为例，具体介绍面映射网格控制在网格划分中的应用。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File**  **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch05.03\mapped-face-meshing.wbpj”，在项目列表中双击  **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

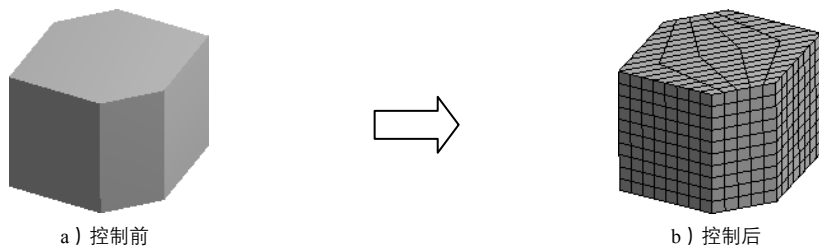



图 5.3.34 面映射控制网格划分

步骤 02 应用扫描方法划分网格。在“Outline”窗口中右击  **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Method** 命令，弹出“Details of ‘Automatic Method’ -Method”对话框。选取整个模型对象，单击 **Apply** 按钮；在 **Definition** 区域 **Method** 下拉列表中选择 **Sweep** 选项。在 **Src/Trg Selection** 下拉列表中选择 **Manual Source and Target** 选项，选取图 5.3.35 所示的模型顶面为源面；选取图 5.3.35 所示的模型底面为目标面；在 **Free Face Mesh Type** 下拉列表中选择 **All Quad** 选项；单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击  **Mesh**，结果如图 5.3.36 所示。

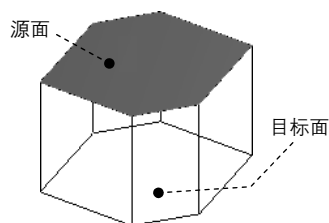


图 5.3.35 选取源面和目标面

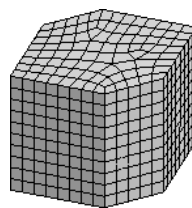


图 5.3.36 扫描网格划分结果

步骤 03 应用面映射控制网格划分。

(1) 选择命令。在“Outline”窗口中右击  **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Mapped Face Meshing** 命令，弹出“Details of ‘Mapped Face Meshing’ - Mapped Face Meshing”对

话框。

(2) 定义映射面。选取图 5.3.37 所示的模型表面为映射面，单击 **Apply** 按钮确认。

(3) 指定 side vertex。单击以激活 **Specified Sides** 后的文本框，选取图 5.3.38 所示的点，单击 **Apply** 按钮确认。

(4) 指定 end vertex。单击以激活 **Specified Ends** 后的文本框，选取图 5.3.39 所示的点，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 04 单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，结果如图 5.3.34b 所示。

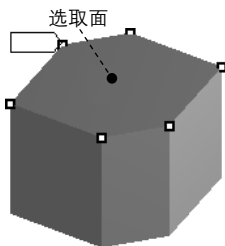


图 5.3.37 定义映射面

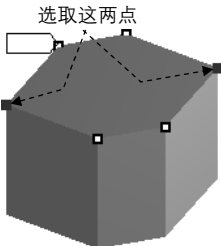


图 5.3.38 指定 side vertex

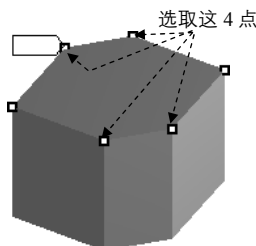


图 5.3.39 指定 end vertex

5.3.6 匹配控制

匹配控制即将选择的两个面对象进行匹配控制，网格划分完成后，两个面对象上的网格结构是一致的，相当于进行了一个镜像操作。

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Match Control** 命令，弹出图 5.3.40 所示的“Details of ‘Match Control’ - Match Control”对话框，用于匹配控制。

下面以图 5.3.41 所示的模型为例，介绍其操作过程。

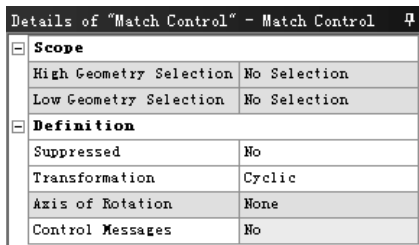


图 5.3.40 “Detail of ‘Match Control’ - Match Control”对话框

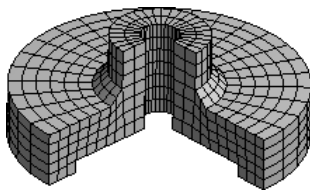


图 5.3.41 匹配控制网格划分

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch05.03\match-control.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在系统弹出的快捷菜单中选择

Insert → Match Control 命令，弹出“Details of ‘Match’ -control”对话框。

步骤 03 定义 High Geometry Selection 对象。单击以激活 High Geometry Selection 后的文本框，选取图 5.3.42 所示的面 1，单击 Apply 按钮。

步骤 04 定义 Low Geometry Selection 对象。单击以激活 Low Geometry Selection 后的文本框，选取图 5.3.42 所示的面 2，单击 Apply 按钮。

步骤 05 定义轴对象。在 Axis of Rotation 下拉列表中选择 Coordinate System 选项。



此处选择的坐标轴系统中的 Z 轴必须与旋转体的旋转轴重合。

步骤 06 单击 Update 按钮，完成网格划分，单击 Mesh，结果如图 5.3.41 所示。

5.3.7 简化控制

简化控制被应用于网格的收缩控制，在划分过程中系统会自动去除一些模型上的狭小特征，如边、狭窄区域等，但是只针对点和边有效，对面和体无效，且不支持直角笛卡儿网格。

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击 Mesh，在弹出的快捷菜单中选择 Insert → Pinch 命令，弹出图 5.3.43 所示的“Details of ‘Pinch’ - Pinch”对话框，用于简化控制。

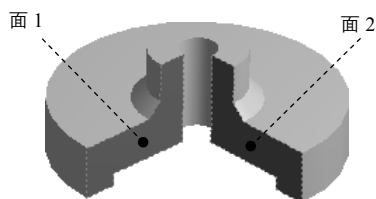


图 5.3.42 选取几何对象

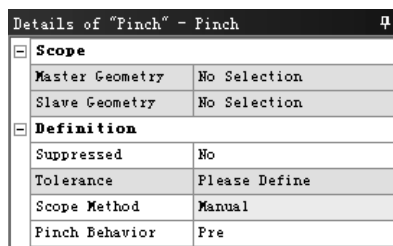


图 5.3.43 “Details of ‘Pinch’ - Pinch”对话框

图 5.3.43 所示的“Details of ‘Pinch’ - Pinch”对话框中部分选项说明如下。

- ◆ **Master Geometry** 选项：保留原形貌的几何体。
- ◆ **Slave Geometry** 选项：被改变的几何体，并移动到 master 中。

下面以图 5.3.44 所示的模型为例，介绍其操作过程。

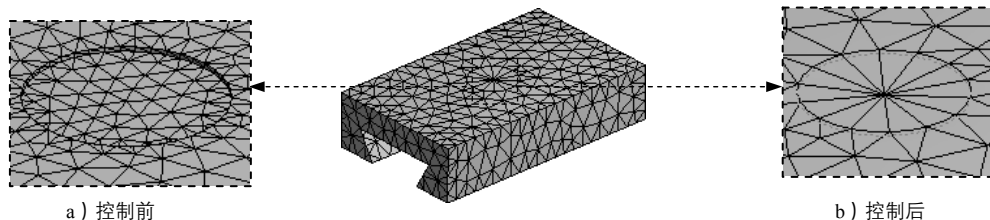


图 5.3.44 简化控制网格划分

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\pinch.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤02 选取命令。在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Pinch** 命令，弹出“Details of ‘Pinch’ - Pinch”对话框。

步骤03 定义 Master Geometry 对象。单击以激活 **Master Geometry** 后的文本框，选取图 5.3.45 所示的边线 1，单击 **Apply** 按钮。

步骤04 定义 Master Geometry 对象。单击以激活 **Slave Geometry** 后的文本框，选取图 5.3.45 所示的边线 2，单击 **Apply** 按钮。

步骤05 定义公差。在 **Definition** 区域的 **Tolerance** 文本框中输入数值 1.0mm。

步骤06 单击 **Update** 按钮，完成网格划分的创建，单击 **Mesh**，结果如图 5.3.44b 所示。

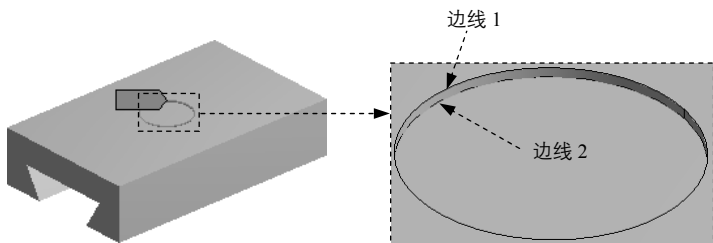


图 5.3.45 定义对象

5.3.8 分层网格控制

分层网格控制用于生成沿指定边界法向的层状单元。当一些物理参数在边界层处的梯度变化恒定时，为了精确地描述这些参数，往往需要进行分层网格控制。

在网格专有划分平台的“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Inflation** 命令，弹出图 5.3.46 所示的“Details of ‘Inflation’ - Inflation”对话框，用于分层网格控制。

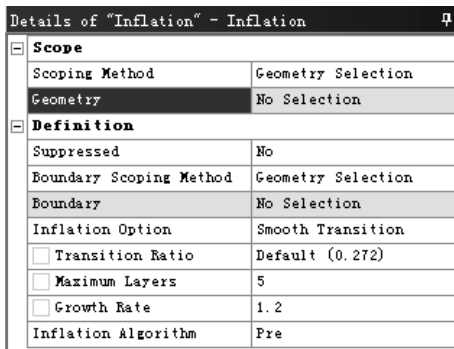


图 5.3.46 “Details of ‘Inflation’ - Inflation”对话框

下面以图 5.3.47 所示的模型为例，介绍创建分层网格控制的一般操作过程。

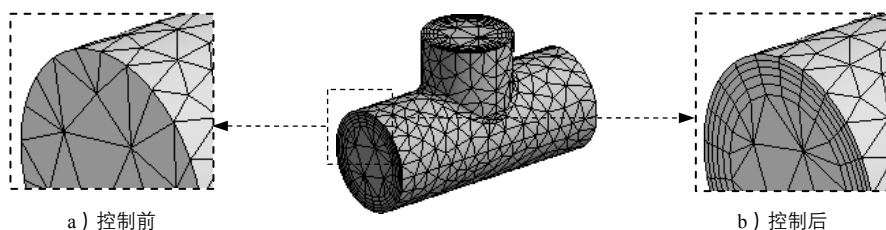


图 5.3.47 分层网格控制网格划分

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.03\inflation.wbpj”，在项目列表中双击 **Mesh** 选项，进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 02 选取命令。在网格专有划分平台的 “Outline” 窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Inflation** 命令，弹出 “Details of ‘Inflation’ -Inflation” 对话框。

步骤 03 定义划分对象。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。

步骤 04 定义边界对象。单击以激活 **Boundary** 后的文本框，选取图 5.3.48 所示的几何体外表面，单击 **Apply** 按钮。

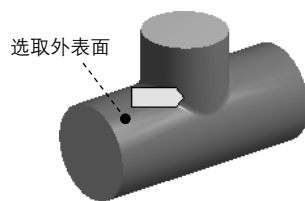


图 5.3.48 定义边界

步骤 05 定义最大层数。在 **Definition** 区域的 **Maximum Layers** 文本框中输入数值 5。

步骤 06 单击 **Update** 按钮，完成网格划分的创建，单击 **Mesh**，结果如图 5.3.47b 所示。

5.4 网格检查工具

网格划分结束后可以检查网格的质量，通常来说，不同物理场和不同的求解器所要求的网格检查准则是不同的。在大纲树中单击 **Mesh**，弹出图 5.4.1 所示的 “Details of ‘Mesh’” 对话框，在 **Statistics** 区域的 **Mesh Metric** 下拉列表中选择一种检查准则，如图 5.4.1 所示，打开检查结果统计图表（一），如图 5.4.2 所示。

读者练习本小节内容时，可打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch05.04\mesh-metric.wbpj”。

图 5.4.2 所示的检查结果统计图表相关说明如下。

- ◆ **Tet10** 图例：表示 10 单元节点的四面体单元，单击图表中对应颜色的柱状图，在图形区显示所有的四面体单元，如图 5.4.3 所示。
- ◆ **Hex20** 图例：表示 20 单元节点的六面体单元，单击图表中对应颜色的柱状图，

在图形区显示所有的六面体单元，如图 5.4.4 所示。

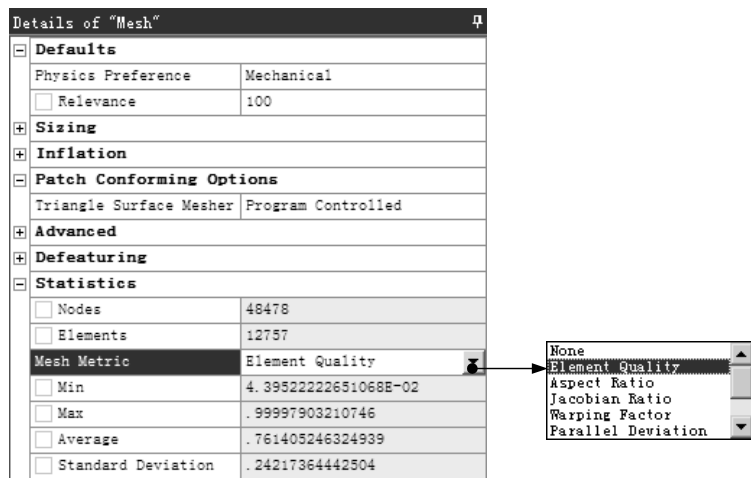


图 5.4.1 “Details of ‘Mesh’” 对话框

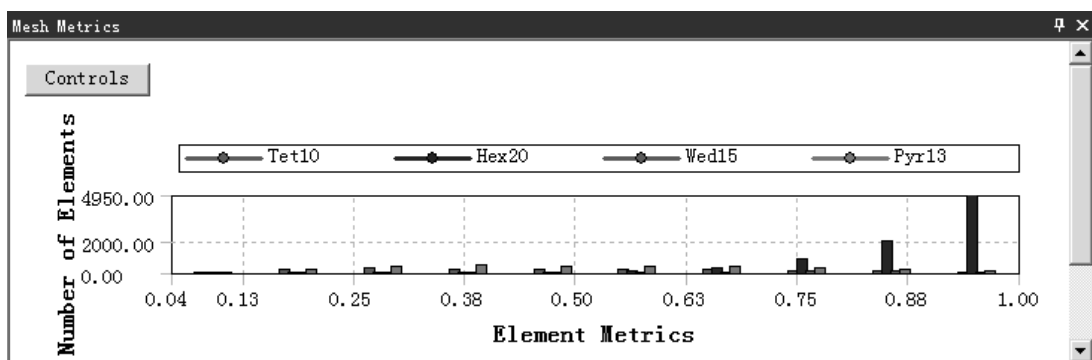


图 5.4.2 检查结果统计图表（一）

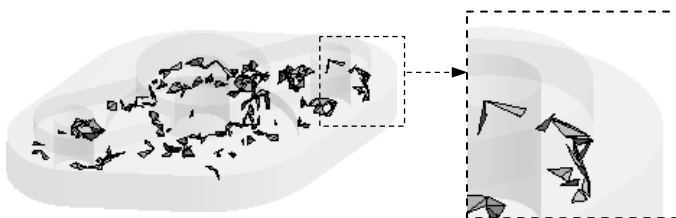


图 5.4.3 四面体单元

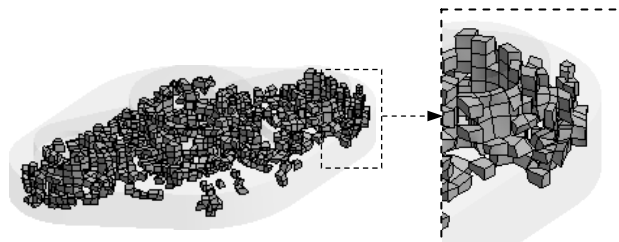



图 5.4.4 六面体单元

- ◆  Wed15图例：表示 15 单元节点的棱柱单元，单击图表中对应颜色的柱状图，在图形区显示所有的棱柱单元，如图 5.4.5 所示。

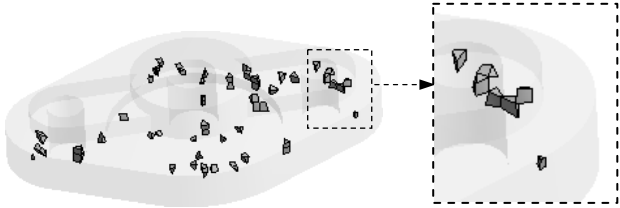



图 5.4.5 棱柱单元

- ◆  Pyr13图例：表示 13 单元节点的四棱锥单元，单击图表中对应颜色的柱状图，在图形区显示所有的四棱锥单元，如图 5.4.6 所示。

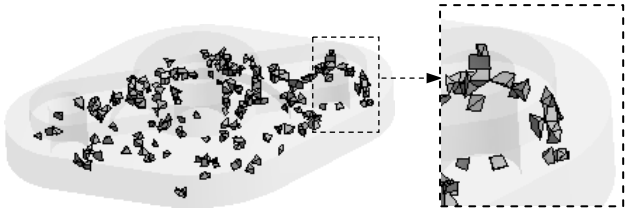



图 5.4.6 四棱锥单元

- ◆ 图 5.4.2 所示的“检查结果统计图表（一）”中横坐标值对应的单元质量之间的定量关系如表 5.4.1 所示。

表 5.4.1 柱状图中各值对应的质量

Value of Skewness	单元质量
1	degenerate
0.9~1	bad (sliver)
0.75~0.9	poor
0.5~0.75	fair
0.25~0.5	good
0~0.25	excellent
0	equilateral

- ◆ 在统计图表区域单击  按钮，弹出图 5.4.7 所示的对话框，在该对话框中可以对统计图表样式进行设定。

对于不同的分析项目，对网格的检查标准也不一样，ANSYS Workbench 中包括多种网格质

量检查准则，下面具体介绍各网格质量检查准则。

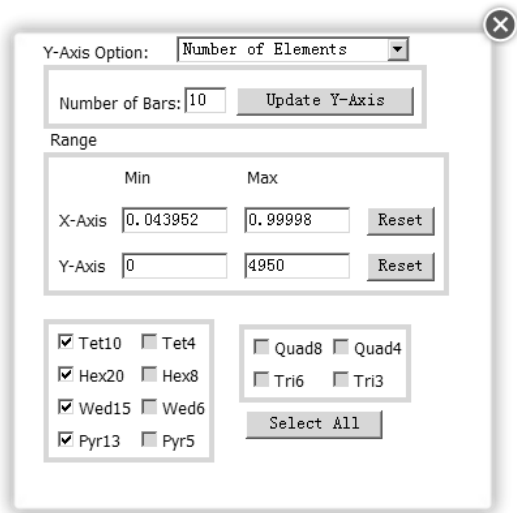


图 5.4.7 单元质量控制图表

- ◆ Element Quality（单元质量检查）。这是一种比较通用的网格质量检查准则。1 表示完美的立方体或正方形；0 表示 0 体积或负体积。
- ◆ Aspect Ratio（纵横比）。选择此选项后，此时在信息栏中打开图 5.4.8 所示的检查结果统计图表（二）。

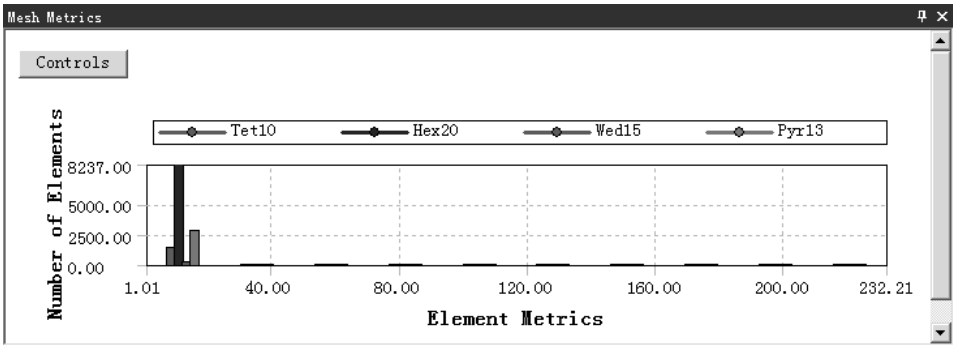


图 5.4.8 检查结果统计图表（二）

- 如图 5.4.9 所示，对于三角形网格来说，按法则判断，当 Aspect Ratio 值为 1 时，三角形为等边三角形，说明此时划分的网格质量最好。



图 5.4.9 三角形网格 Aspect Ratio

- 如图 5.4.10 所示，对于四边形网格来说，按法则判断，当 Aspect Ratio 值为 1 时，四边形为正方形，说明此时划分的网格质量最好。



图 5.4.10 四边形网格 Aspect Ratio

- Jacobian Ratio (雅克比率)。雅克比率适应性较广，一般用于处理带有中节点的单元，选择此选项，在信息栏中打开图 5.4.11 所示的检查结果统计表 (三)。

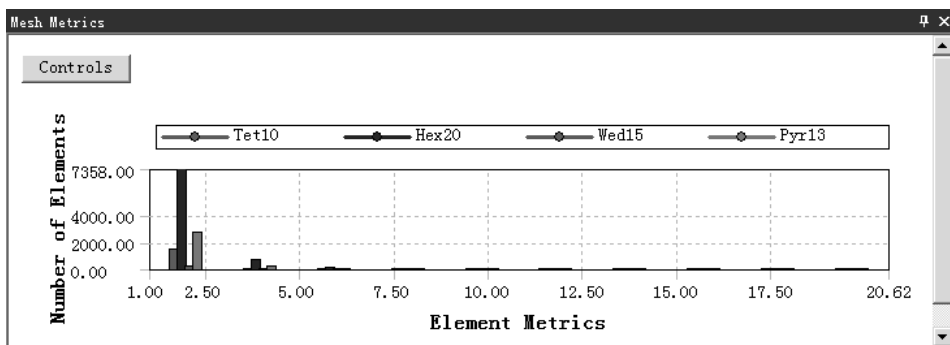


图 5.4.11 检查结果统计图表 (三)

- 对于三角形单元，每个三角形的中间点都在三角形边的中点上，那么此时 Jacobian Ratio 为 1，图 5.4.12 所示的 Jacobian Ratio 为 1、30、1000 时的三角形网格。



图 5.4.12 三角形网格 Jacobian Ratio

- 对于任何一个矩形单元或平行四边形单元，不管是否含有中间节点，Jacobian Ratio 都为 1，图 5.4.13 所示的是 Jacobian Ratio 为 1、30、100 时的四边形网格 (一)。

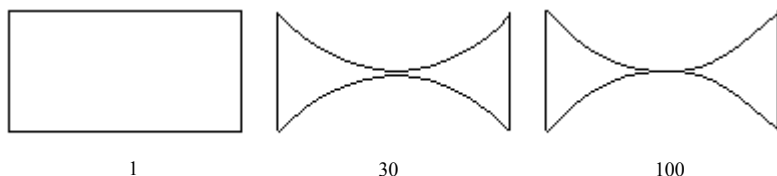


图 5.4.13 四边形网格 Jacobian Ratio (一)

- 能够满足四边形单元或块单元的 Jacobian Ratio 为 1, 需保证所有的边都平行或任何边上的中间节点都位于两个焦点的中间位置。图 5.4.14 所示的是 Jacobian Ratio 为 1、30、1000 时的四边形网格 (二), 此四边形网格可以生成 Jacobian Ratio 为 1 的六面体网格。

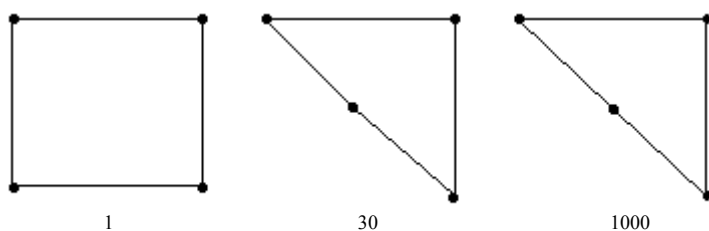


图 5.4.14 四边形网格 Jacobian Ratio (二)

- ◆ Warping Factor (翘曲因子)。Warping Factor 用于评估或计算四边形壳单元、带有四边形面的块单元(楔形单元及金子塔单元)等, 高扭曲系数表明单元控制方程不能较好地控制单元, 需重新划分。选择此选项后, 在信息栏中打开图 5.4.15 所示的检查结果统计图表 (四)。

- 图 5.4.16 所示的是二维四边形壳单元的 Warping Factor 逐渐增加的网格变形图形, 从图可知 Warping Factor 由 0.0 增大至 5.0 的过程与网格扭曲程度成正比。

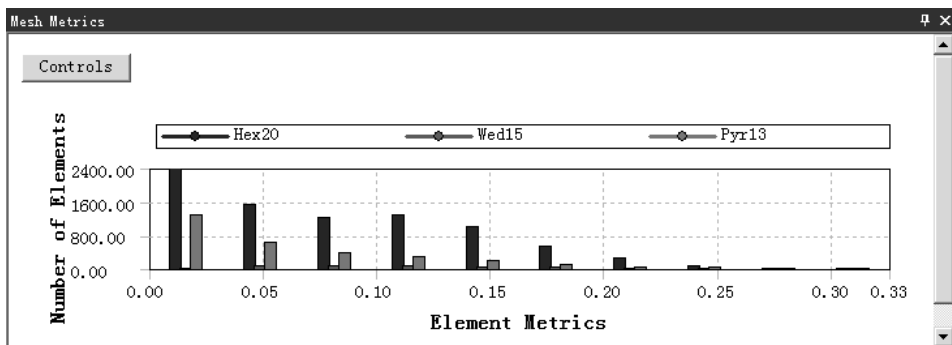


图 5.4.15 检查结果统计图表 (四)

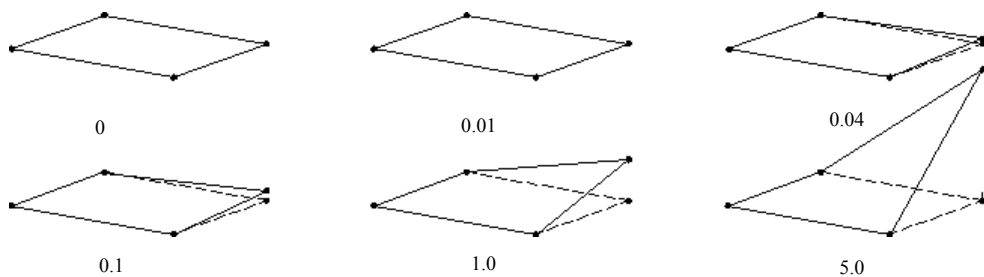


图 5.4.16 Warping Factor 二维图形变形

- 相对三维块单元的 Warping Factor 来说，分别对 6 个面的 Warping Factor 进行比较，选取其中的最大值作为翘曲因子，如图 5.4.17 所示。

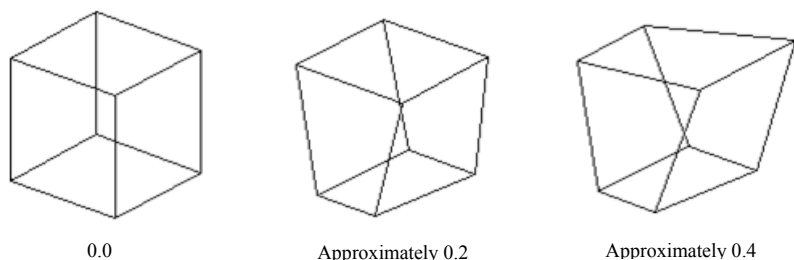


图 5.4.17 Warping Factor 三维块单元变化

- ◆ Parallel Deviation（平行偏差）。通过对边矢量的点积进行计算，并利用其中的余弦值求出最大夹角；其 Parallel Deviation 为 0 最好，表明两对边平行。选择此选项后，在信息栏中打开图 5.4.18 所示的检查结果统计图表（五）。

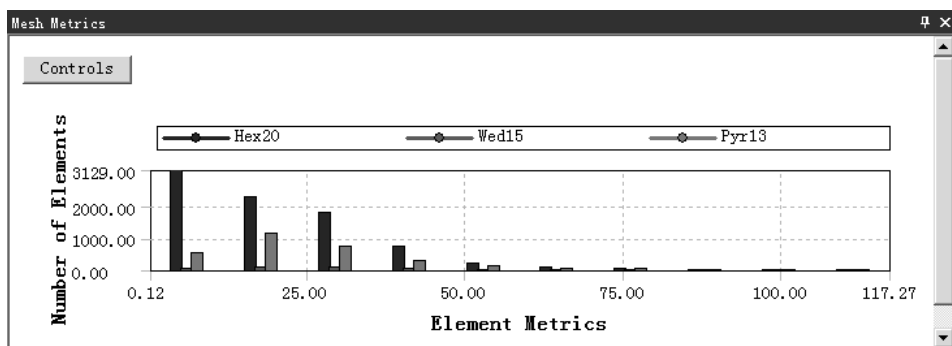


图 5.4.18 检查结果统计图表（五）

- 图 5.4.19 所示为 Parallel Deviation 值从 0~170 时的二维四边形单元变化图形。

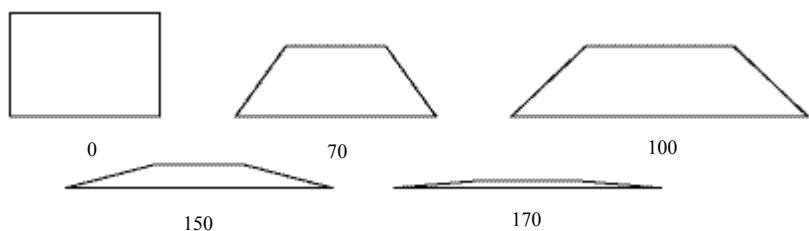


图 5.4.19 Parallel Deviation 二维四边形单元变化图形

- ◆ Maximum Corner Angle（最大转弯角）。计算最大角度，相对于三角形而言，60° 最好且为等边三角形；对于四边形而言，90° 最好且为矩形，如图 5.4.20 所示。选择此选项后，在信息栏中打开图 5.4.21 所示的检查结果统计图表（六）。

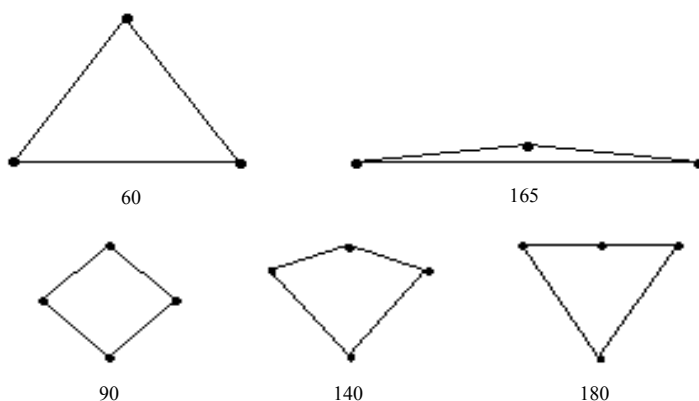


图 5.4.20 Maximum Corner Angle 二维单元变化图形

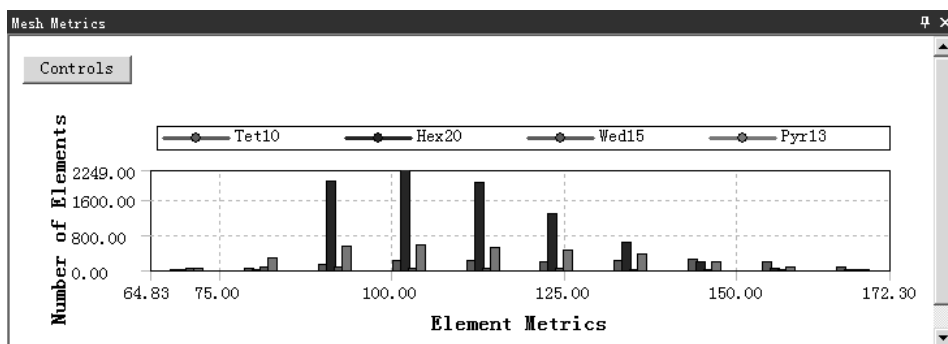


图 5.4.21 检查结果统计图表（六）

- ◆ Skewness（偏度）。它是网格质量检查的主要方法之一，选择此选项后，在信息栏中打开图 5.4.22 所示的检查结果统计图表（七）。
- ◆ Orthogonal Quality（正交品质）。这是网格质量检查的主要方法之一，其值位于 0 和 1 之间，0 最差，1 最好。选择此选项后，在信息栏中打开图 5.4.23 所示的检查结果统计图表（八）。

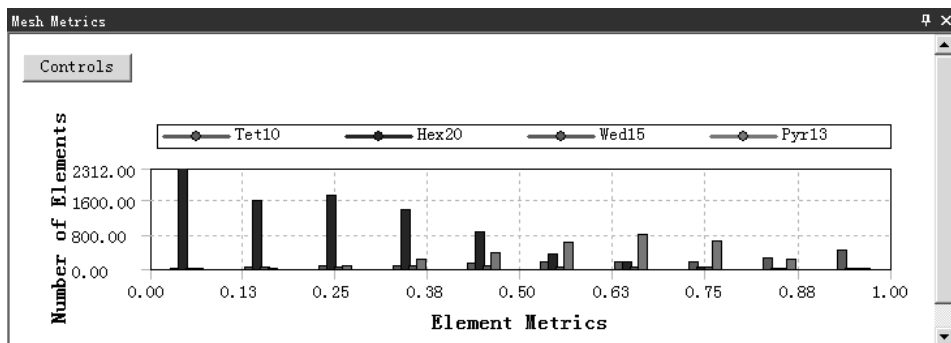


图 5.4.22 检查结果统计图表（七）

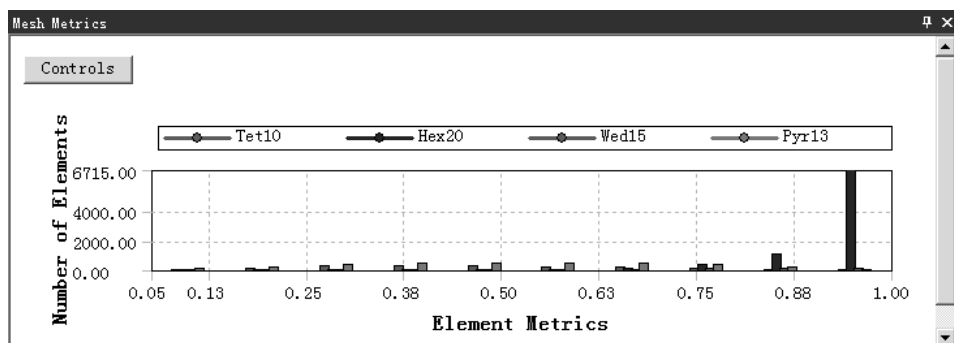


图 5.4.23 检查结果统计图表 (八)

5.5 网格划分综合应用一

应用概述:

本应用将对图 5.5.1 所示的轴零件进行网格划分, 首先进行初步网格划分, 得到比较粗糙的网格单元, 然后使用全局网格控制工具对网格进行一定的细化, 最后使用局部控制方法将网格划分成质量精细的六面体网格单元, 如图 5.5.2 所示, 下面具体介绍其网格划分过程。

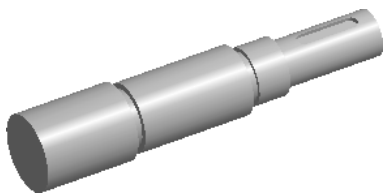


图 5.5.1 轴几何体

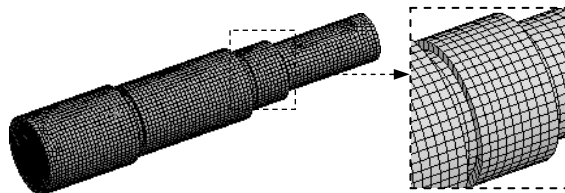


图 5.5.2 轴网格划分

步骤 01 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Mesh** 选项, 新建一个“Mesh”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Mesh”项目列表中右击 **Geometry**, 在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令, 选择文件“D:\ansc14.0\work\ch05.05\shaft-mesh.stp”并打开。

步骤 03 进入 ANSYS 专有网格划分平台。在 ANSYS Workbench 主界面中双击“Mesh”项目列表中的 **Mesh**, 进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 04 初步划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**, 在弹出的快捷菜单中选择 **Generate Mesh** 命令, 完成初步的网格划分, 结果如图 5.5.3 所示。

步骤 05 全局控制网格划分。在“Outline”窗口中单击 **Mesh**, 弹出图 5.5.4 所示的“Details

of ‘Mesh’”对话框，在对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Medium** 选项，并在 **Element Size** 文本框中输入数值 2.0mm；单击 **Update** 按钮，网格划分结果如图 5.5.5 所示。

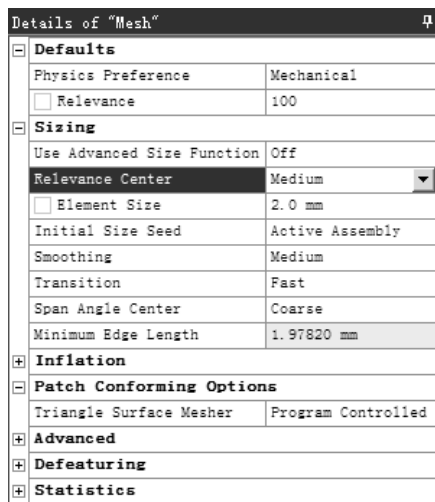


图 5.5.4 “Details of ‘Mesh’”对话框

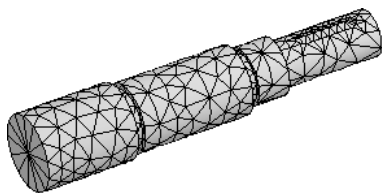


图 5.5.3 初步网格划分结果

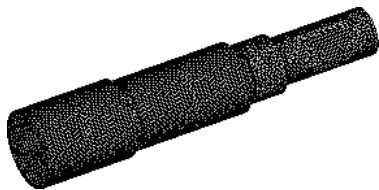


图 5.5.5 全局控制网格划分结果

步骤 06 使用 Method 方法对网格进行局部控制。在 **Mesh Control** 下拉菜单中选择 **Method** 命令，弹出图 5.5.6 所示的“Details of ‘Dominant Method’ -Method”对话框。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认；在 **Definition** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **Hex Dominant** 选项，其他选项采用系统默认设置；单击 **Update** 按钮，完成网格划分，单击 **Mesh**，显示的网格结果如图 5.5.7 所示。

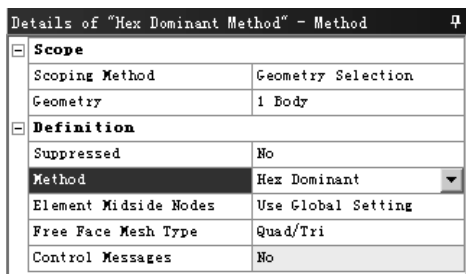


图 5.5.6 “Details of ‘Dominant Method’ -Method”对话框

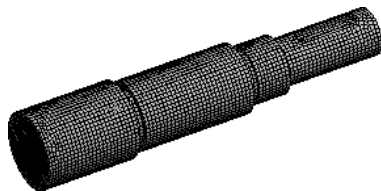


图 5.5.7 使用 Method 方法控制网格划分结果

5.6 网格划分综合应用二

应用概述:

本应用将对图 5.6.1 所示的支架零件进行网格划分，首先对网格进行全局控制，然后分别使

用分层方法控制工具对网格进行局部控制细化, 最终得到图 5.6.2 所示的网格划分结果, 下面具体介绍其网格划分过程。

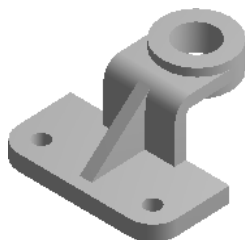


图 5.6.1 支架几何体

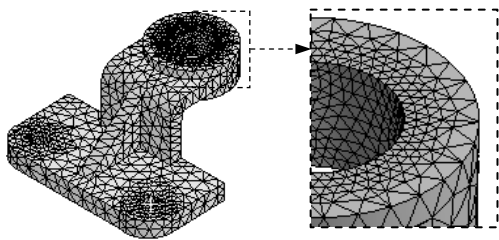


图 5.6.2 支架网格划分结果

步骤 01 创建“Mesh”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Component Systems** 区域中的 **Mesh** 选项, 新建一个“Mesh”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Mesh”项目列表中右击 **Geometry**, 在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令, 选择文件“D:\ansc14.0\work\ch05.06\support-mesh.stp”并打开。

步骤 03 进入 ANSYS 专有网格划分平台。在“Mesh”项目列表中双击 **Mesh** 选项, 进入 ANSYS 专有网格划分平台。

步骤 04 初步划分网格。在“Outline”窗口中单击 **Mesh**, 单击 **Update** 按钮, 完成初步的网格划分, 结果如图 5.6.3 所示。

步骤 05 全局控制网格划分。在“Outline”窗口中单击 **Mesh**, 弹出“Details of ‘Mesh’”对话框, 在对话框的 **Relevance** 文本框中输入值 100, 在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Coarse** 选项, 其他参数采用默认设置; 单击 **Update** 按钮, 完成图 5.6.4 所示的全局控制网格划分。

步骤 06 对网格应用 Refinement 控制 (一)。在“Outline”窗口中单击 **Mesh**, 在 **Mesh Control** 下拉菜单中选择 **Refinement** 命令, 弹出“Details of ‘Refinement’-Refinement”对话框; 选取图 5.6.5 所示的选取边界面对象 (一)——圆柱面, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认; 在 **Refinement** 文本框中输入数值 2, 其他选项采用系统默认设置; 单击 **Update** 按钮, 完成网格划分, 单击 **Mesh**, 显示网格结果如图 5.6.6 所示。

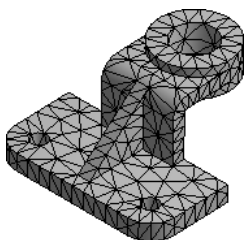


图 5.6.3 初步网格划分



图 5.6.4 全局控制网格划分

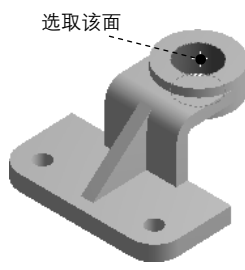


图 5.6.5 选取边界面对象 (一)

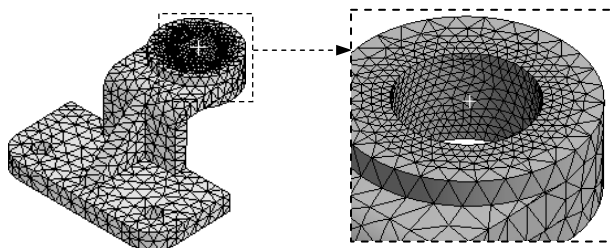


图 5.6.6 应用 Refinement 控制（一）——显示网格结果

步骤 07 对网格应用 Refinement 控制（二）。参考步骤 06，选取图 5.6.7 所示的选取边界面对象（二）——圆孔面，在 文本框中输入数值 1，网格划分结果如图 5.6.8 所示。

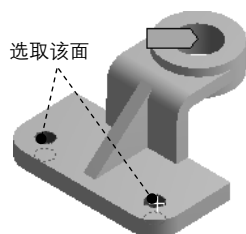


图 5.6.7 选取边界面对象（二）

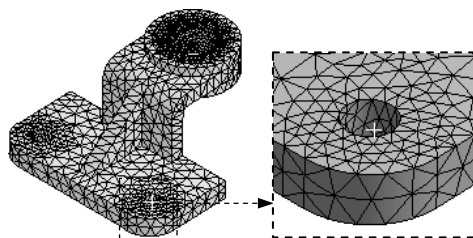


图 5.6.8 应用 Refinement 控制（二）——网格划分结果

第 6 章 ANSYS Workbench 求解与结果后处理

6.1 求解选项

在 ANSYS Workbench 中有两种求解器：直接求解器和迭代求解器。一般情况下求解器是自动选取的，当然，用户可以预先选用一种求解器。选择 **Tools** → **Options...** 命令，弹出图 6.1.1 所示的“Options”对话框。

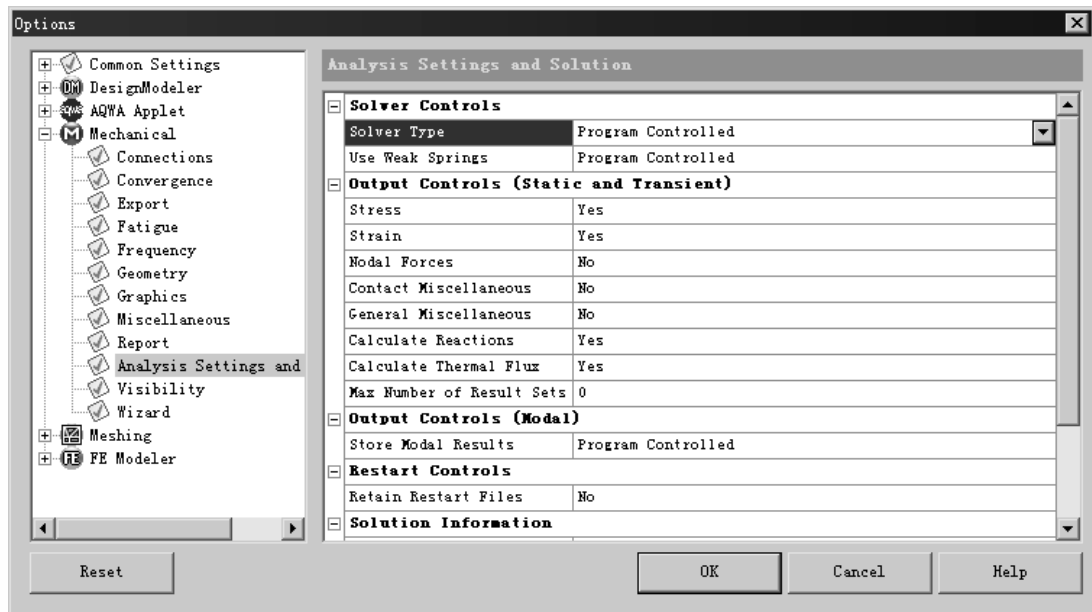


图 6.1.1 “Options”对话框

在“Options”对话框的左侧列表中选中 **Analysis Settings and Solution**，在右侧列表中的 **Solver Type** 下拉列表中可以设置求解器类型。

当其他各项条件均已设置完成后，单击顶部工具栏中的 **Solve** 按钮，即可进行求解，默认条件下，计算机若是双核处理器，则会自动进行并计算，用户可以手动设置处理器个数。

选择下拉菜单 **Tools** → **Solve Process Settings...** 命令，弹出图 6.1.2 所示的“Solve Process Settings”对话框，单击对话框中的 **Advanced...** 按钮，弹出图 6.1.3 所示的“Advanced Properties”对话框。

6.2 求解与后处理结果

在 Mechanical 中完成各项定义后，经过系统的求解计算，可以得到相应的分析结果图解，一般包括各方向的变形和应力、应变、主应力应变、接触输出等，这些量都需要定义，而且，得到的结果图解都可以根据不同需要以不同的方式显示出来，相关内容将在本章后面的小节进行介绍，在此不再赘述。

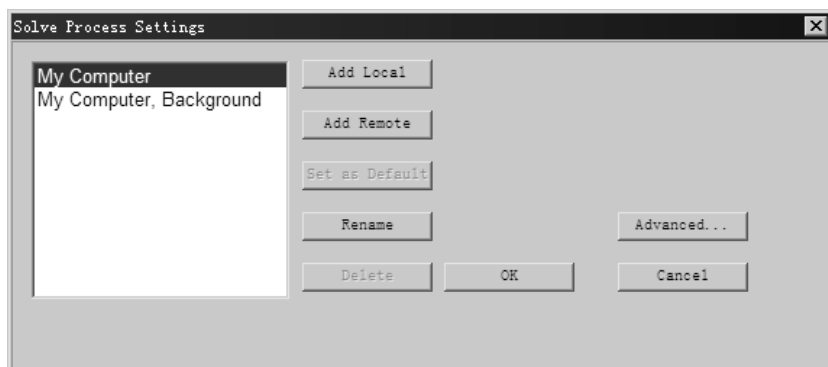


图 6.1.2 “Solve Process Settings”对话框

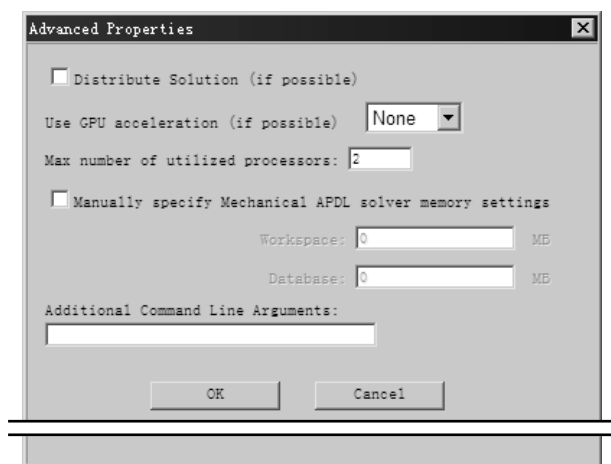



图 6.1.3 “Advanced Properties”对话框

在 Mechanical 中插入结果图解主要有以下两种方法。

方法一：在“Outline”窗口中单击  **Solution (A6)** 节点，系统在顶部工具栏区弹出图 6.2.1 所示的“Solution”工具栏，可以用来定义各种分析结果图解。

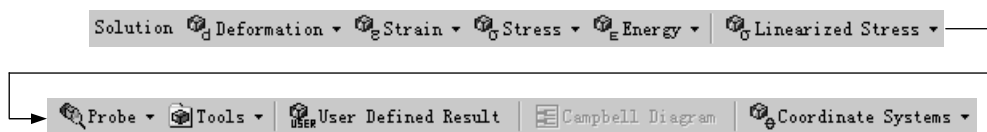





图 6.2.1 “Solution”工具栏

在“Solution”工具栏中单击  User Defined Result 按钮，弹出图 6.2.2 所示的“Details of ‘User Defined Result’”对话框，用来定义自定义结果。

方法二：在“Outline”窗口中右击  Solution (A6) 选项，在弹出的快捷菜单中选择  Insert 命令，弹出图 6.2.3 所示的结果图解工具子菜单，在该子菜单中选择相应的命令可以快速创建一种结果图解。

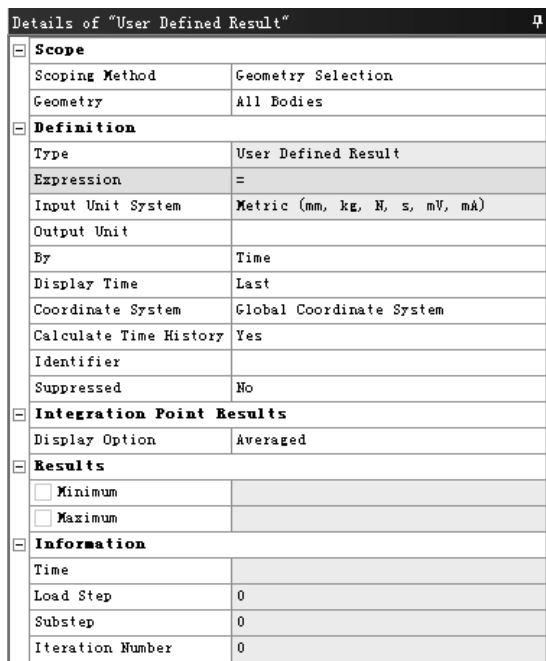


图 6.2.2 “Details of ‘User Defined Result’”对话框

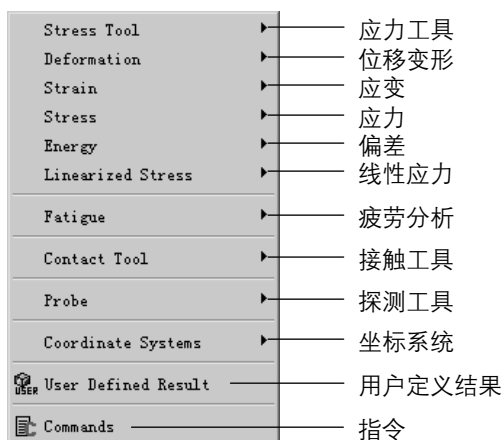


图 6.2.3 结果图解工具子菜单


在“Outline”窗口中单击  Solution Information 节点，弹出图 6.2.4 所示的“Details of ‘Solution Information’”对话框，用于设置求解信息参数。

图 6.2.5 所示的支架模型，各种分析条件均已定义完全，需要对其进行求解计算，并查看支架在当前工况条件下的等效应力—总位移变形分布情况，下面具体介绍其操作过程。

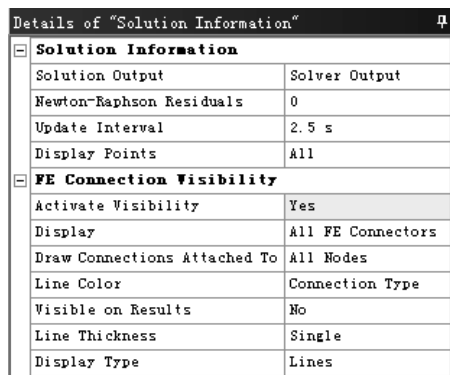






图 6.2.4 “Details of ‘Solution Information’”对话框







图 6.2.5 支架模型

步骤01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch06.02\solution.wbpj。”

步骤02 进入“Mechanical”环境。在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境（其模型已定义约束及载荷等条件）。

步骤03 插入等效应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)**选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Stress**  **Equivalent (von-Mises)**命令。系统在“Outline”窗口的 **Solution (A6)**节点下生成一个等效应力结果图解，如图 6.2.6 所示。

步骤04 插入总位移变形结果图解。在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Deformation**  **Total**命令。系统在“Outline”窗口的 **Solution (A6)**节点下生成一个总位移变形结果图解，如图 6.2.6 所示。

步骤05 求解与计算。在顶部工具栏按钮区单击 **Solve**按钮，系统开始求解计算，并弹出图 6.2.7 所示的“ANSYS Workbench Solution Status”对话框，显示系统求解进程。

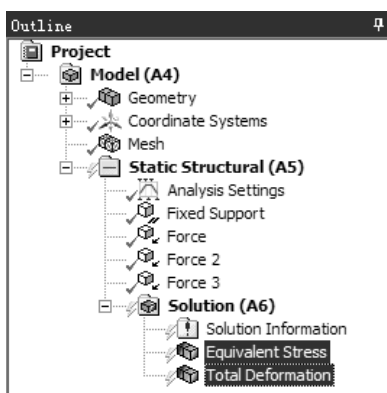


图 6.2.6 插入结果图解

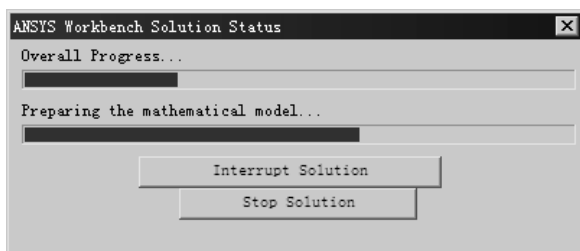


图 6.2.7 “ANSYS Workbench Solution Status”对话框





一般地，系统在求解计算时，是先对几何体进行网格划分（没有先划分网格的情况下），然后对整个分析问题进行求解计算，这种情况下，系统会先弹出图 6.2.8 所示的“ANSYS Workbench Mesh Status”对话框，显示系统网格划分进程。



图 6.2.8 “ANSYS Workbench Mesh Status”对话框

步骤 06 查看分析结果图解。

(1) 查看等效应力结果图解。在“Outline”窗口中单击选中  **Equivalent Stress**，查看图 6.2.9 所示的等效应力结果，可知最小应力为 0.022246 MPa，最大应力为 100.12 MPa。

(2) 查看总位移变形结果图解。在“Outline”窗口中单击选中  **Total Deformation**，查看图 6.2.10 所示的总位移变形结果，可知最大位移为 0.23458 mm。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/3 9:53

100.12 Max
88.999
77.877
66.755
55.633
44.511
33.389
22.266
11.144
0.022246 Min



图 6.2.9 等效应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/3 9:55

0.23458 Max
0.20852
0.18245
0.15639
0.13032
0.10426
0.078195
0.05213
0.026065
0 Min




图 6.2.10 总体变形结果图解

6.3 结果后处理工具

在得到分析结果之后，往往需要对分析结果进行评估，为了满足用户的分析查看需求，ANSYS Workbench 提供了多种工具。下面将介绍几种常用工具的使用方法。

6.3.1 结果工具栏

在“Outline”窗口中单击  **Solution (A6)** 节点下的任一结果节点，将弹出图 6.3.1 所示的“Result”工具栏。下面具体介绍该工具栏中各工具的使用方法。

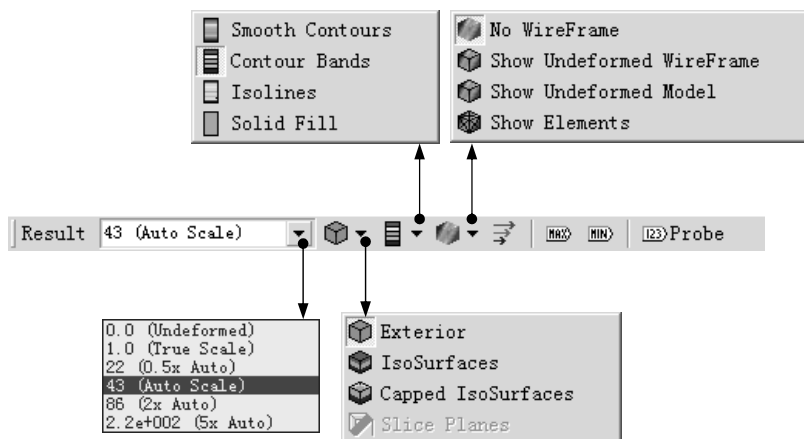
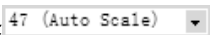


图 6.3.1 “Result”工具栏

1. 缩放比例

缩放比例用于控制分析结果的显示比例，在“Result”工具栏中选择  下拉列表，用来选择或设置缩放比例，比例系数可使用内置值或自定义值，其不同效果如图 6.3.2 所示。

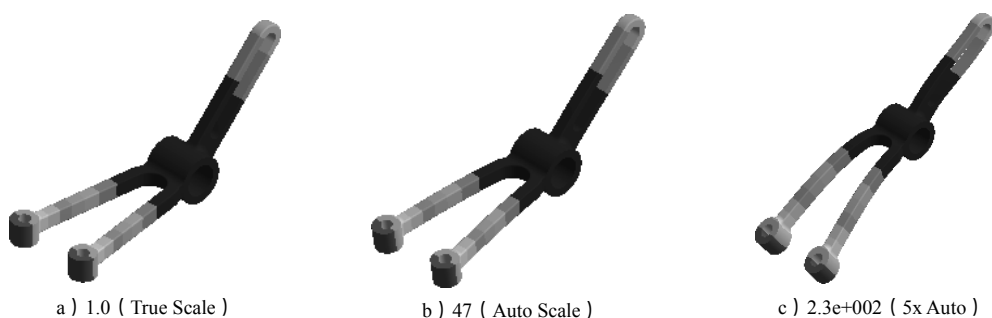


图 6.3.2 不同缩放比例的显示效果

2. 图解几何显示控制








图解几何显示控制用来控制分析结果的几何显示方式，在“Result”工具栏中单击  按钮，设置几何显示控制，包括  Exterior、 IsoSurfaces、 Capped IsoSurfaces 和  Slice Planes 等 4 种状态，其不同效果如图 6.3.3 所示。



图 6.3.3 不同几何显示控制的显示效果

在“Result”工具栏中选择   Capped IsoSurfaces 命令，弹出图 6.3.4 所示的“Capped Isosurface”工具栏。在工具栏中拖拽滑块设置结果查看的临界值，然后单击工具栏中的按钮可分别查看临界值、临界值上限及临界值下限结果图解，具体显示结果如图 6.3.5 所示。

在“Result”工具栏中选择   Slice Planes 命令，可以查看剖面结果图解，需要注意的是，此命令只有在使用了剖面工具后才有效。



图 6.3.4 “Capped Isosurfaces”工具栏

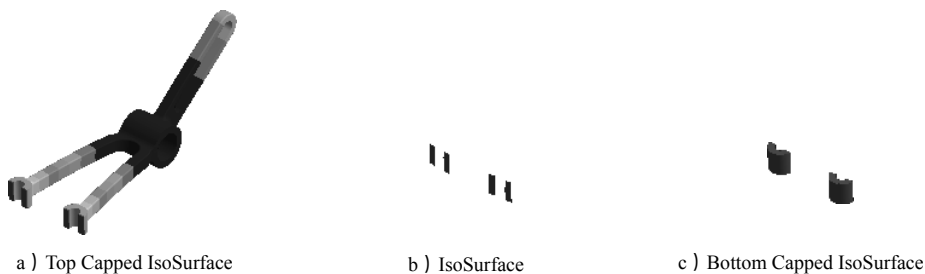



图 6.3.5 显示结果图解

3. 云图显示样式控制

云图显示样式用来控制分析结果图解在模型中的云图显示样式，在“Result”工具栏中单击  按钮，选择不同的显示样式，其不同效果如图 6.3.6 所示。

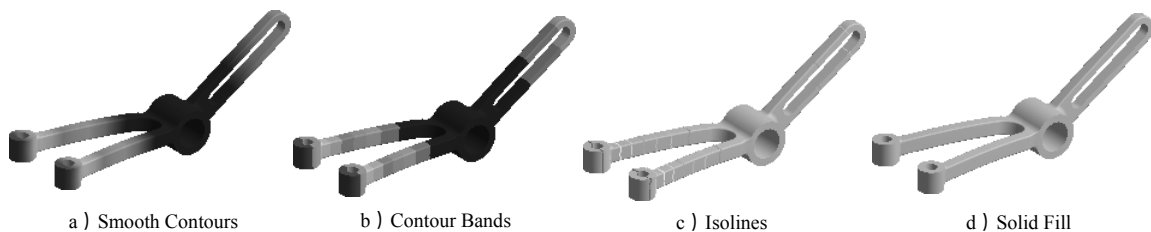



图 6.3.6 云图显示样式控制

4. 边显示样式控制

边显示样式控制用来控制分析结果在模型中的边显示样式，在“Result”工具栏中单击  按钮，选择不同的显示样式，其不同效果如图 6.3.7 所示。

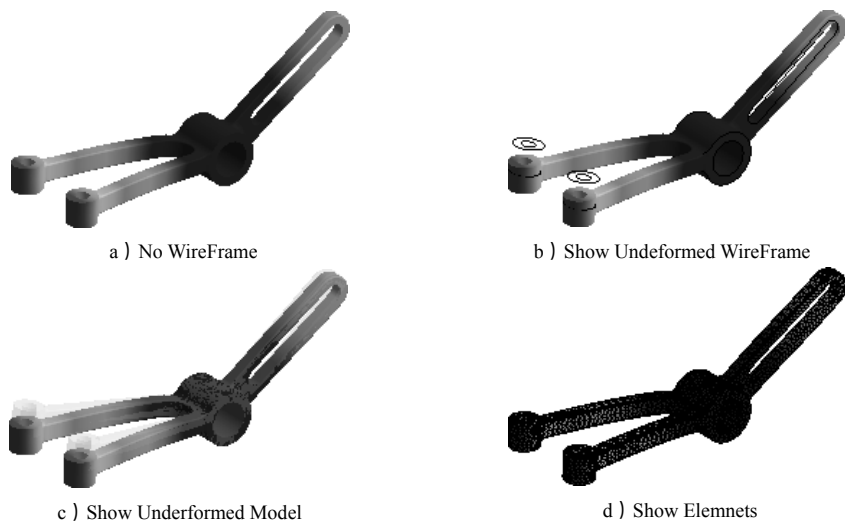


图 6.3.7 边显示样式控制

5. 矢量显示样式控制。




在“Result”工具栏中单击按钮，弹出图 6.3.8 所示的“Vector Display”工具栏。使用该工具栏可以控制图解结果中矢量显示样式。



图 6.3.8 “Vector Display”工具栏

在“Vector Display”工具栏中单击按钮和按钮，可以控制矢量的属性显示方式和均匀显示方式，拖拽其后的滑块可以调整参数值，效果如图 6.3.9 所示。

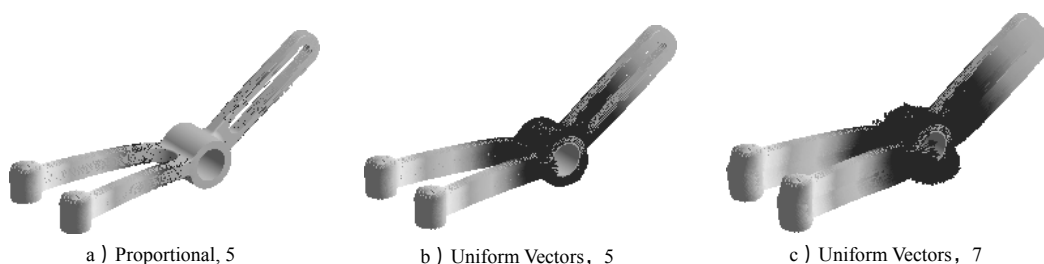




图 6.3.9 矢量控制

在“Vector Display”工具栏中单击按钮和按钮，可以控制矢量的对齐显示方式，可以是单元对齐和网格对齐，拖拽其后的滑块可以调整参数值，效果如图 6.3.10 所示。

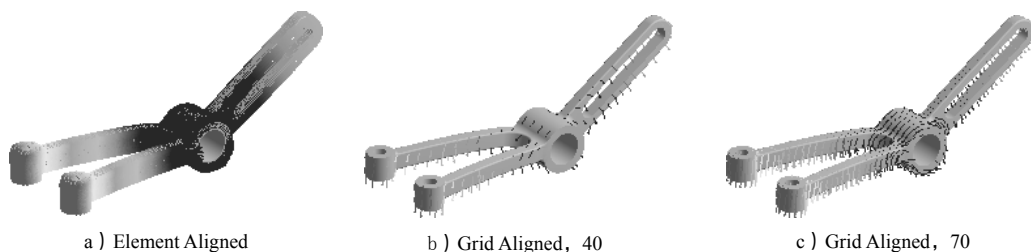




图 6.3.10 分布控制

在“Vector Display”工具栏中单击按钮和按钮，可以控制矢量的箭头显示方式，可以是线样式和实体样式，效果如图 6.3.11 所示。

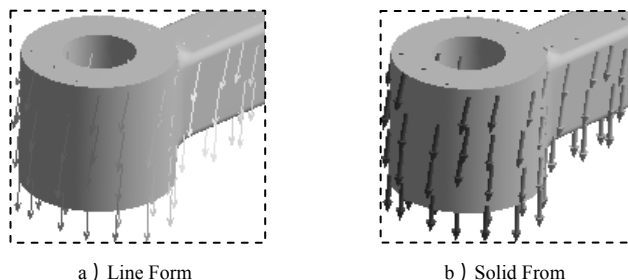






图 6.3.11 箭头样式控制

6. 极值与探测值显示控制。

在“Result”工具栏中单击  按钮，探测图解上的最大值；单击  按钮，探测图解上的最小值；单击  按钮，然后在图解上单击任一节点位置，探测该位置的值，如图 6.3.12 所示。

在“选择过滤器”工具条中单击  按钮，在图解上选中探测结果标签，按 Delete 键可以删除探测标签。

7. 图例显示设置

在结果图例上右击，系统弹出图 6.3.13 所示的快捷菜单。使用该快捷菜单，用户可以对结果显示图例进行设置，方便对结果的评估。



图 6.3.12 极值与探测值显示



图 6.3.13 图例快捷菜单（一）

下面以图例对比的方式，具体介绍几种常用的图例设置工具，具体操作请读者根据以上对快捷菜单的介绍自行练习，此处不再赘述。

不使用对数比例和使用对数比例的显示效果如图 6.3.14 所示。

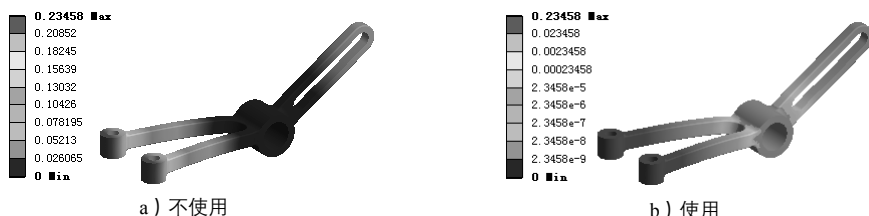


图 6.3.14 对数比例

不同颜色方案的显示效果分别如图 6.3.15 和图 6.3.16 所示。

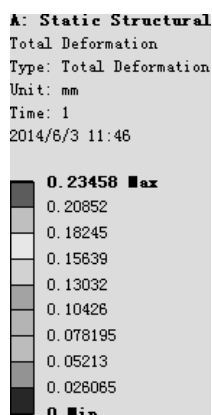


图 6.3.15 彩虹显示

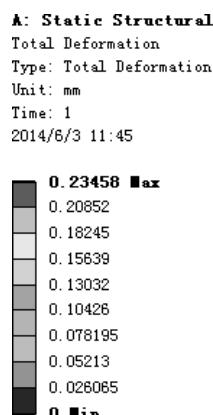


图 6.3.16 灰度显示

图例背景半透明和透明的显示效果如图 6.3.17 所示。



a) 半透明



b) 透明

图 6.3.17 背景显示

中性带显示控制的不同显示效果如图 6.3.18 所示。

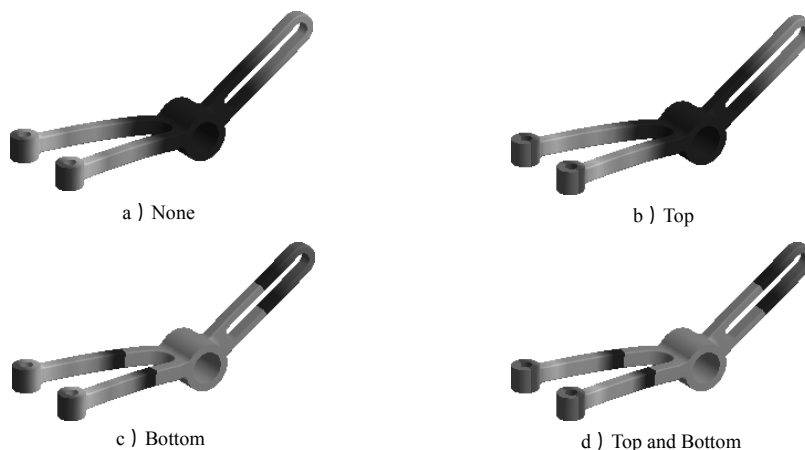


图 6.3.18 中性带显示

在结果显示图例上，单击某个色块，此时会出现 \oplus 和 \ominus 按钮，单击 \oplus 按钮可以增加刻度，最多色块数量为 14 个；单击 \ominus 按钮可以减少刻度，最少色块数量为 3 个，其显示效果如图 6.3.19 所示。

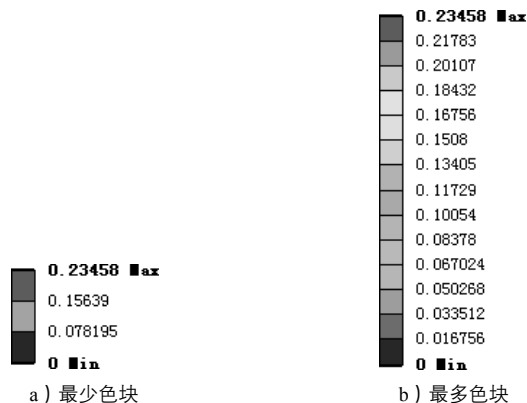


图 6.3.19 调整色块的数量

在结果显示图例上，右击某个色块，在弹出的快捷菜单中选择 **Custom Color...** 命令，此时会弹出图 6.3.20 所示的“颜色”对话框，用户可以选择所需要的颜色。

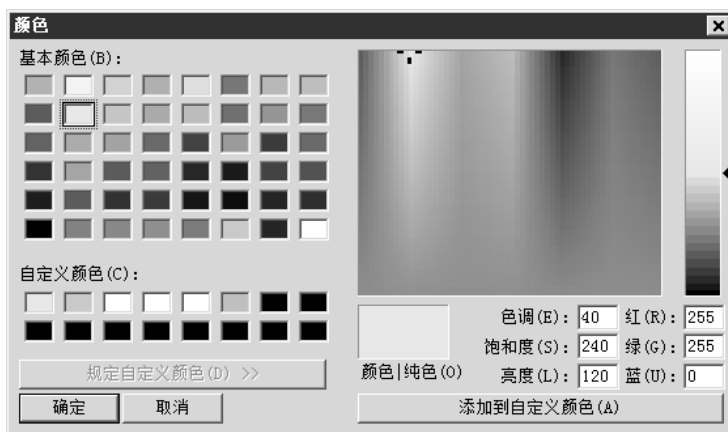


图 6.3.20 “颜色”对话框

在结果显示图例上，将指针放置到两个色块的连接处，指针将变成 \updownarrow 形状，此时上下拖拽可以重新设置色块的数值界限，但拖拽过程中最大值和最小值保持不变，其显示效果如图 6.3.21 所示。

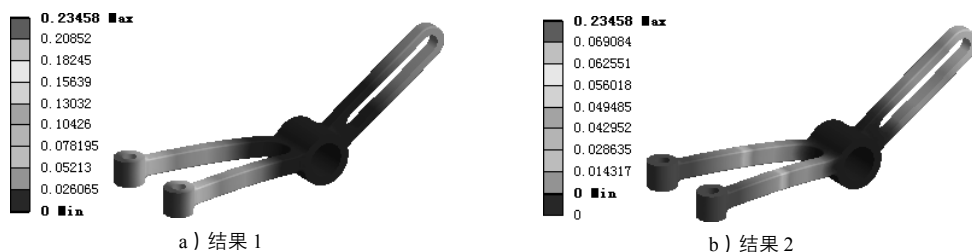


图 6.3.21 调整色块显示的界限

6.3.2 剖截面





剖截面工具用于剖切模型以便观察模型内部细节情况，用户可以通过点击和拖拽来定义截面、控制截面显示、删除截面。在顶部工具栏中单击按钮，弹出图 6.3.22 所示的“Section Planes”窗口。





图 6.3.22 “Section Planes” 窗口


单击“Section Planes”窗口中的按钮，用于创建新的剖截面；单击按钮用于删除剖面，单击按钮用于显示整个单元。在“Section Planes”窗口中可能会存在多个剖截面，通过勾选剖截面选项前的☒复选框，使其处于显示状态，否则将不显示该剖截面。

下面具体介绍创建剖截面的一般操作方法。

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch06.03.02\section-planes.wbpj”。

步骤 02 进入“Mechanical”环境。在“Static Structural”项目列表中双击选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 03 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中单击Total Deformation 节点，查看总位移变形结果图解。

步骤 04 选择命令。在“Section Planes”窗口中单击按钮。

步骤 05 绘制剖切线。在图形区拖拽指针绘制图 6.3.23 所示的剖切线，结果如图 6.3.24 所示。



图 6.3.23 绘制剖切线

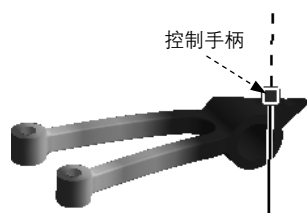



图 6.3.24 剖切结果

步骤 06 编辑剖截面。在图形区拖拽图 6.3.24 所示的控制手柄，可以编辑剖截面的位置，如图 6.3.25 所示；在控制手柄的虚线位置单击，可以切换剖截面显示侧，如图 6.3.26 所示；在控制手柄的实线位置单击，只显示剖截面，如图 6.3.27 所示。

步骤 07 编辑剖截面显示。在“Section Planes”窗口中单击按钮，系统在剖截面上显示整个单元，如图 6.3.28 所示。

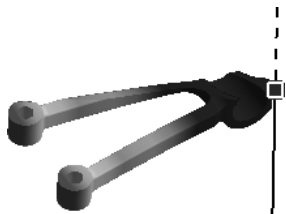


图 6.3.25 编辑剖截面位置

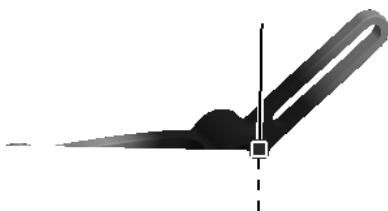


图 6.3.26 切换剖截面显示侧




图 6.3.27 只显示剖截面



图 6.3.28 显示整个单元





剖截面工具不仅用于对分析结果的查看，还用于对网格的查看，在“Outline”窗口中选中 Mesh 节点，可以查看网格模型中的剖截面，读者可自行练习。

6.4 分析报告

完成分析与评估后，需要整理一份完整的分析报告，ANSYS Workbench 能够生成两种分析报告，一种是结果图解报告，另外一种就是分析报告。下面具体介绍。

6.4.1 创建结果图解报告

结果图解报告是将结果图解的各种信息写入报告，并且可以创建 Word 和 ppt 两种不同格式的报告，下面以 Equivalent Stress 结果图解为例，介绍创建 Equivalent Stress 应力结果报告的方法。


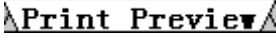
在“Outline”窗口中单击 Equivalent Stress（或其他结果项），在图形区下部单击 **Print Preview** 标签，图形区切换到图 6.4.1 所示的“Print Preview”界面，同时，在顶部工具栏区域出现图 6.4.2 所示的“Print Preview”工具栏，用于创建结果图解报告。

图 6.4.2 所示“Print Preview”工具栏中各命令说明如下。

- ◆  下拉菜单：用于设置生成结果图解的图片质量。

- ☒ **Normal Image Resolution** 命令：选中该命令，以一般质量生成结果图片（图 6.4.3a）。
- ☒ **Enhanced Image Resolution** 命令：选中该命令，对图片进行加强处理，图片质量比一般质量要高（图 6.4.3b）。
- ☒ **High Resolution (Memory Intensive)** 命令：选中该命令，以高质量图像生成结果图片（图 6.4.3c）。

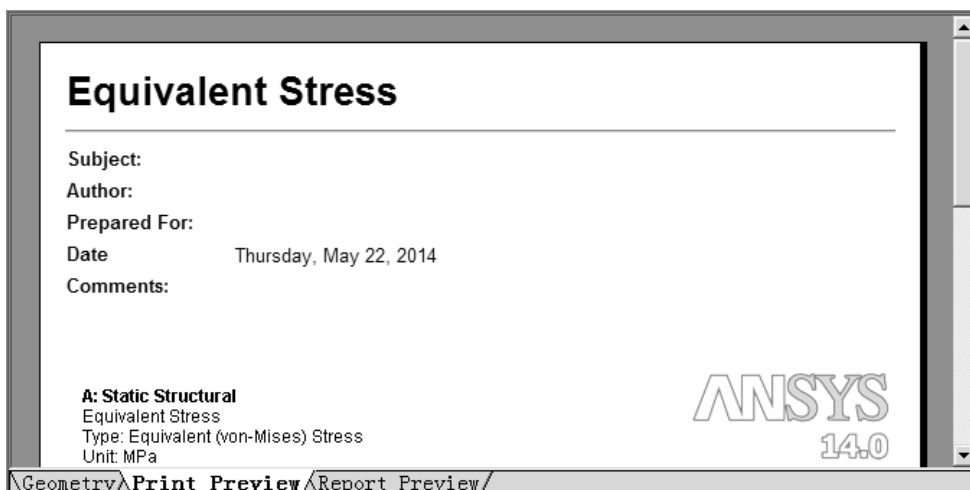
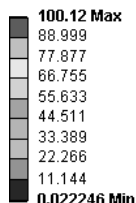


图 6.4.1 “Print Preview” 窗口



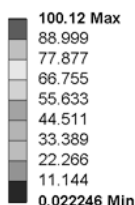
图 6.4.2 “Print Preview” 工具栏

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/3 15:29

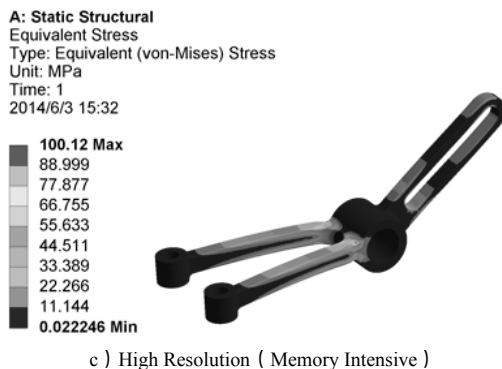


a) Normal Image Resolution

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/3 15:31



b) Enhanced Image Resolution



c) High Resolution (Memory Intensive)

图 6.4.3 设置图片显示质量

- ◆ **Print** 命令: 如果计算机连接了打印机, 选中该命令打印结果图解报告。
- ◆ **Send To** 下拉菜单: 用于设置生成报告格式, 包括以下三种。
 - **Email Recipient (As Attachment)...** 命令: 选中该命令, 以电子邮件方式发送报告文件。
 - **Microsoft Word...** 命令: 选中该命令, 以 Word 格式生成报告。
 - **Microsoft PowerPoint...** 命令: 选中该命令, 以 ppt 格式生成报告。

在“Print Preview”工具栏中选择 **Send To** **Microsoft Word...** 命令, 系统创建 Word 格式的结果图解报告, 结果如图 6.4.4 所示。

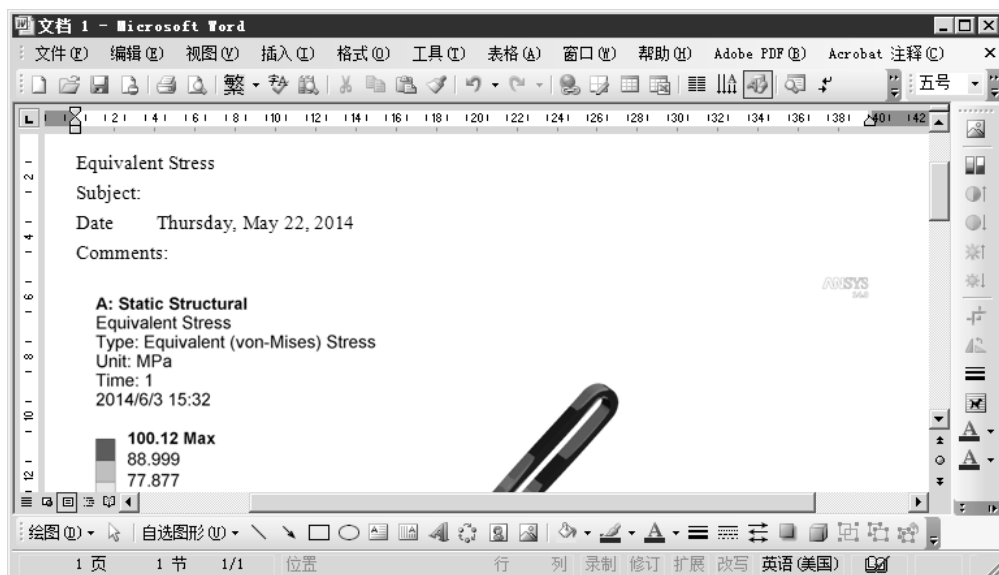


图 6.4.4 Word 格式结果图解报告

6.4.2 创建分析报告

分析报告是将分析过程中的所有项目参数信息写入报告，并且可以创建 Word 和 ppt 两种不同格式的报告。

在图形区下部单击 **Report Preview** 标签，图形区切换到图 6.4.5 所示的“Report Preview”界面，同时，在顶部工具栏区域出现图 6.4.6 所示的“Report Preview”工具栏，用于创建分析报告。

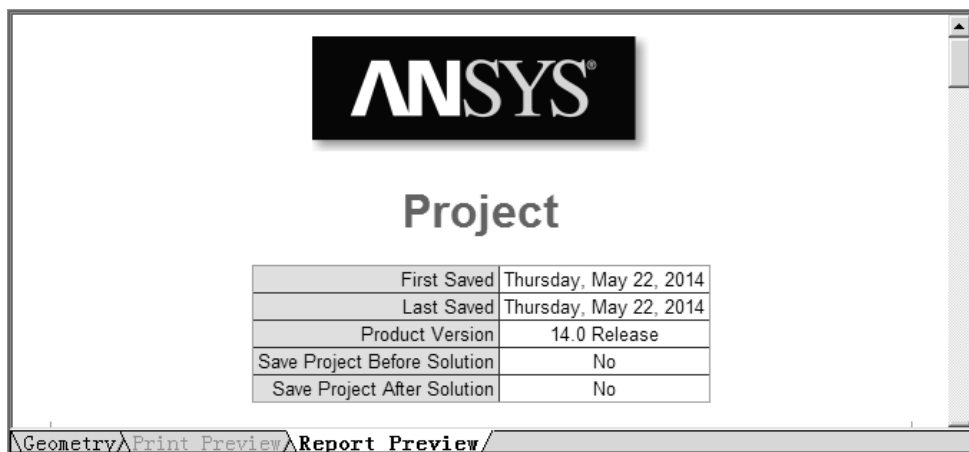


图 6.4.5 “Report Preview” 窗口

在“Report Preview”工具栏中选择 **Send To** 命令，弹出图 6.4.7 所示的“转换文件”对话框，采用默认设置，单击 **确定** 按钮，系统创建 Word 格式的分析报告，如图 6.4.8 所示。

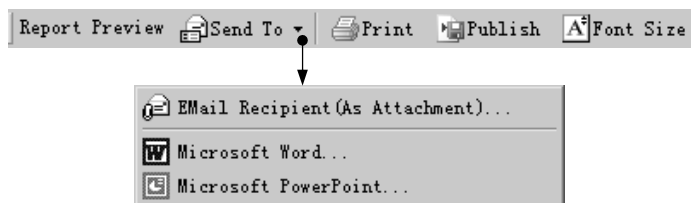


图 6.4.6 “Report Preview” 工具栏

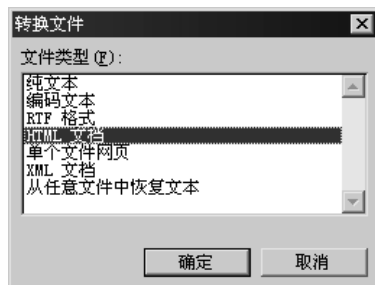


图 6.4.7 “转换文件”对话框



在“Report Preview”工具栏中选择 **Send To** 命令，系统创建 PPT 格式的分析报告，如图 6.4.9 所示。

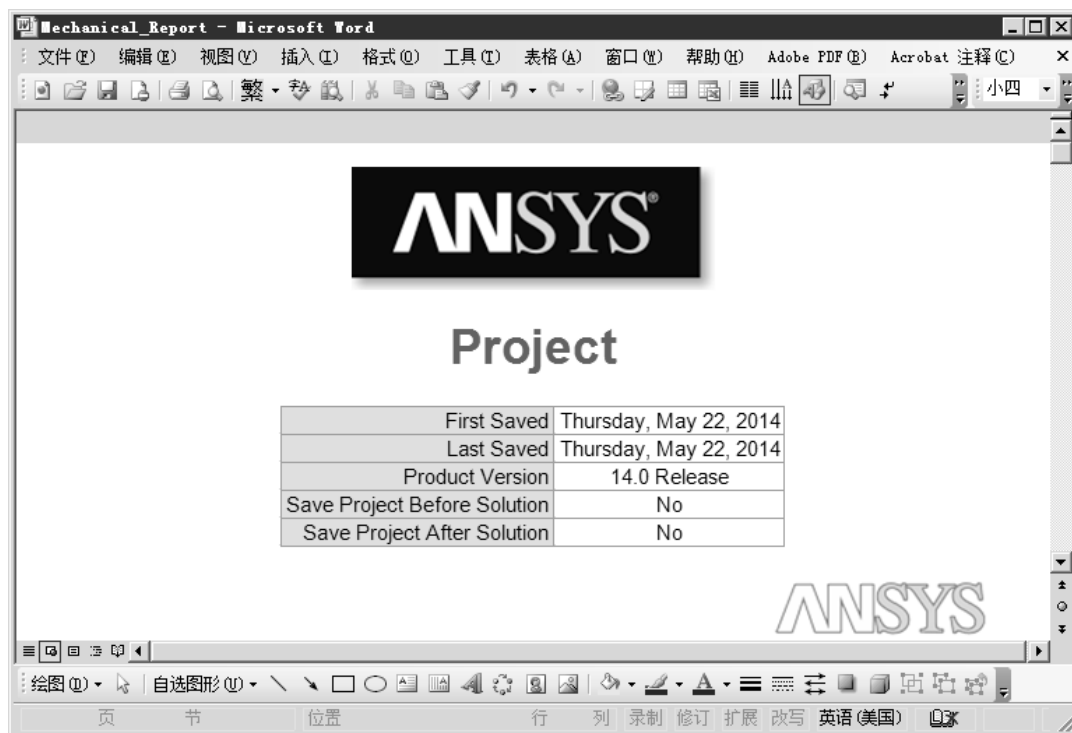


图 6.4.8 Word 格式报告

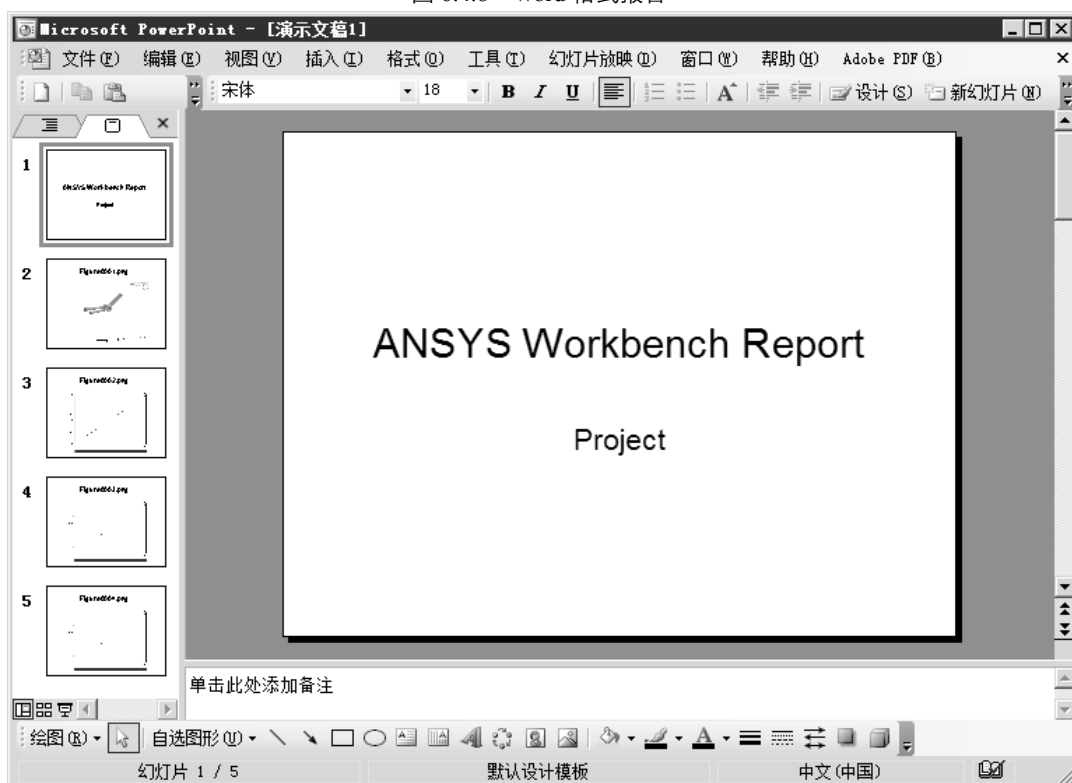


图 6.4.9 PPT 格式报告

第 7 章 静态结构分析问题详解

7.1 静力结构分析基础

结构受到静态载荷的作用，惯性和阻尼可以忽略，在静态载荷作用下，结构处于静力平衡状态，此时必须充分约束，但由于不考虑惯性，则质量对结构没有影响。但是很多情况下，如果载荷周期远远大于结构自振周期（缓慢加载），则结构的惯性效应能够忽略，这种情况可以简化为线性静力分析来进行。

线性静力结构分析用来分析结构在给定静力载荷作用下的响应。一般情况下，比较关注的往往是结构的位移、约束反力、应力及应变等参数。由经典理论力学可知物体的动力学通用方程是：

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\}$$




式中，[M]表示质量矩阵；[C]表示阻尼矩阵；[K]表示刚度系数矩阵；{x}表示位移矢量；{F}表示力矢量。

在线性静力结构分析中，所有与时间相关的选项都被忽略，于是可得到以下方程：

$$[K]\{x\} = \{F\}$$

在分析中应该满足以下假设条件：必须是连续的，材料需满足线弹性材料和小变形理论。其中{F}表示静力载荷，同时不考虑随时间变化的载荷，也不考虑惯性（如质量、阻尼等）的影响。在线性静力分析中，假设条件是非常重要的。

线性静力分析是有限元分析中最基本但又是应用最广泛的一类分析类型，用于线弹性材料，静态加载的情况。一般工程计算中最常应用的分析方法就是静力分析。

在 ANSYS Workbench14.0 中进行线性静力结构分析，首先要创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击  工具箱中  区域中的  Static Structural，即可新建一个“Static Structural”项目列表。在项目列表中有 A1 到 A7 共 7 个表格（如同 Excel 表格），从上到下依次进行设置即可完成一个静力分析项目。

ANSYS Workbench14.0 的线性静力分析可以将多种载荷组合在一起进行分析，即可以进行

多工况的力学分析。

本章对线性静力分析基础进行介绍，介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行线性静力结构分析的一般流程，介绍线性静力结构分析中的几种典型问题的分析方法，并结合实例进行讲解，通过对本章内容的学习，读者能够对线性静力结构分析有一个较为深入的了解。

7.2 静力结构分析流程

下面通过一个实例，具体介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行一般线性静力结构分析的一般流程。

图 7.2.1 所示的固定支架模型，底部四个小孔完全固定，在零件上部斜圆柱端面受到一个垂直于端面向内的作用力，已知力的大小为 500N，分析其应力、位移变形情况。

步骤 01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**，新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 项目，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** **Browse...** 命令，弹出“打开”对话框，选择文件“D:\ansys14.0\work\ch07.02\static-analysis.stp”并打开。

步骤 03 进入“Mechanical”分析环境。在“Static Structural”项目列表中双击 **Model**，进入“Mechanical”分析环境。

步骤 04 设置材料属性。在“Outline”窗口中单击 **Geometry** 节点下的 **static-analysis**，弹出“Details of ‘static-analysis’”对话框，在对话框的 **Material** 区域确认 **Assignment** 属性为 **Structural Steel** 选项。



在进行静态结构分析过程中，必须为分析对象添加材料属性，在 ANSYS Workbench 中，可以在“Static Structural”项目列表中双击 **Engineering Data**，进入设计数据管理界面，定义相关材料属性。关于材料属性内容，将在本书第 2 章中做详细介绍，在此不再赘述。

步骤 05 初步划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Generate Mesh** 命令，系统划分网格，结果如图 7.2.2 所示。

步骤 06 全局网格控制。在“Outline”窗口中单击 **Mesh** 节点，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框，在对话框的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Medium** 选项，单击 **Update** 按钮，系统重新划分网格，结果如图 7.2.3 所示。

步骤07 添加固定约束条件。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框；选取图 7.2.4 所示的四个圆柱孔内表面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束的添加。



图 7.2.1 固定支架模型

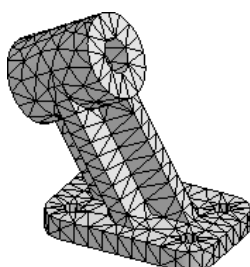


图 7.2.2 初步划分网格

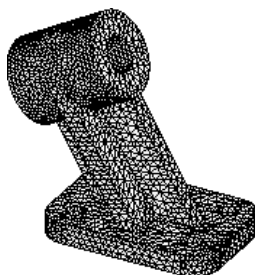


图 7.2.3 全局网格控制

步骤08 添加载荷力。在“Environment”工具栏中选择 **Loads** → **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”对话框。选取图 7.2.5 所示的模型表面为几何对象，在 **Geometry** 文本框中单击 **Apply** 按钮确认；在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Vector** 选项，在 **Magnitude** 文本框中输入数值 500；单击 **Direction** 文本框，然后在图形区中单击 **Direction** 按钮，调整方向箭头，如图 7.2.5 所示，然后在 **Direction** 文本框中单击 **Apply** 按钮。完成载荷力的添加。

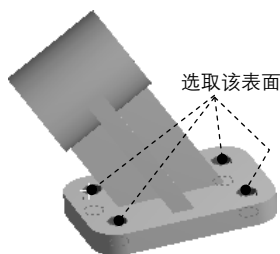


图 7.2.4 添加固定约束条件

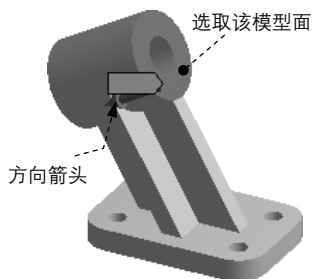




图 7.2.5 添加载荷力



步骤09 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。弹出“Details of ‘Equivalent Stress’”对话框，采用系统默认设置，完成应力结果图解定义。

步骤10 插入总位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令，弹出“Details of ‘Total Deformation’”对话框，采用系统默认设置，完成总位移变形结果图解定义。

步骤11 求解并查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击  按钮求解分析。

(2) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Total Deformation**，查看图 7.2.6 所示的位移变形结果图解，其最大位移为 0.01029mm。

(3) 查看应力结果图解。单击  按钮，系统开始进行计算。在“Outline”窗口中选中  **Equivalent Stress**，查看图 7.2.7 所示的应力结果图解，其最小应力为 0.0056871 MPa，其最大应力为 16.742 MPa。

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014-6-7 15:05

0.01029 Max
0.009147
0.0080036
0.0068603
0.0057169
0.0045735
0.0034301
0.0022868
0.0011434
0 Min



图 7.2.6 位移变形结果图解

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014-6-7 15:16

16.742 Max
14.882
13.023
11.163
9.3036
7.444
5.5845
3.7249
1.8653
0.0056871 Min

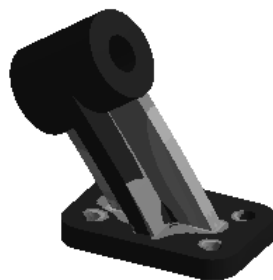


图 7.2.7 应力结果图解

步骤 12 保存文件。选择  **File**  **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 static-analysis，单击  按钮保存。

7.3 杆系与梁系结构分析

7.3.1 分析问题概述

杆系与梁系问题在有限元分析中非常常见，对于这类问题，在分析过程中首先根据其结构特点进行简化（一般是简化成线体模型），然后对简化模型进行分析，这样既保证了求解精度，简化了建模，又提高了分析效率。下面先了解一下杆系与梁系问题基础，然后通过一个实例介绍在 ANSYS Workbench 中进行分析的一般过程。

1. 杆系问题

杆系结构是指结构由许多细长杆构成的结构系统，且杆的弯曲刚度较小或弯曲产生的应力较之轴力相对较小，故杆的主要变形为轴向变形，主要承受轴向拉/压力，力学上称为二力杆。

2. 梁系问题

较之杆系，梁系结构杆件还考虑了弯曲、扭转效应。这时节点上的广义位移在线位移的基

基础上又增加了角位移。

在 ANSYS Workbench 中, 对于杆系梁系结构的分析, 先是创建其简化的线体模型, 然后对线体模型进行分析即可。下面通过一个实例, 具体介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行一般杆系与梁系结构分析的一般流程。

7.3.2 杆系与梁系结构分析一般流程

图 7.3.1 所示的矩形横梁, 长度为 3000mm, 高度为 100mm, 宽度为 60mm, 横梁厚度为 10mm, 材料为结构钢。根据图 7.3.2 所示横梁的受力示意图, 对其进行应力分布、变形等情况的分析。

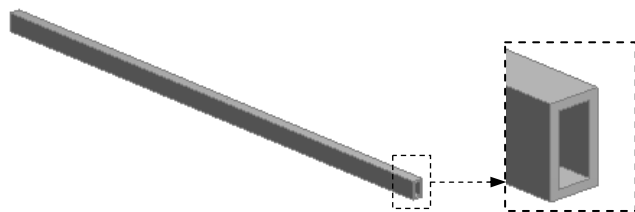


图 7.3.1 矩形钢横梁

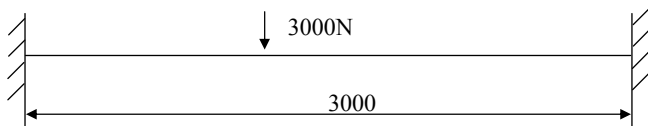


图 7.3.2 横梁受力示意图

步骤 01 创建 Static Structural 项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中, 双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural** 选项, 新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 项目, 在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令, 弹出“打开”对话框, 选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.03\rectangle-beam.stp”并打开。在“Static Structural”项目列表中双击 **Geometry** 选项, 在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项, 单击 **OK** 按钮, 进入 DM 建模环境; 单击 **Generate** 按钮, 完成几何体导入 (图 7.3.1)。

步骤 03 创建图 7.3.3 所示的线体。选择 **Concept** → **Lines From Edges** 命令, 选取图 7.3.3 所示的模型边线为对象, 在 **Edges** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。单击 **Generate** 按钮, 完成线体的创建。

步骤 04 抑制几何体。在“Tree Outline”中展开 **2 Parts, 2 Bodies** 节点, 右击 **RECTANGLE-BEAM** 节点, 在弹出的快捷菜单中选择 **Suppress Body** 选项。



此处将 **RECTANGLE-BEAM** 进行抑制的目的就是不希望该几何体对象参与到分析计算中，本实例实际分析的对象是创建的虚拟横梁结构。

步骤 05 创建矩形横梁。

(1) 定义横梁截面属性。选择 **Concept** → **Cross Section** → **Rectangular Tube** 命令，弹出“Details View”对话框。在对话框中修改截面尺寸值，其中 $W1=60$, $W2=100$, $t1=10$, $t2=10$, $t3=10$, $t4=10$ 。结果如图 7.3.4 所示。

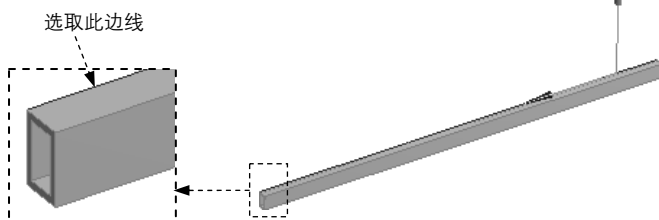


图 7.3.3 创建线体

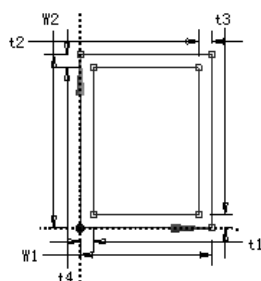


图 7.3.4 定义横截面参数

(2) 将横截面属性赋给线体。在“Tree Outline”中展开 **2 Parts, 2 Bodies** 节点，单击选中线体 **Line Body**，在弹出的“Details View”对话框中的 **Cross Section** 下拉列表中选择 **RectTubel** 选项，完成操作。

(3) 修改显示样式。选择 **View** → **Cross Section Solids** 命令，结果如图 7.3.5 所示。

步骤 06 返回 Workbench 主界面，采用系统默认的材料，在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 07 划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Generate Mesh** 命令，然后在“Details View”对话框 **Element Size** 文本框中输入 100，单击 **Update** 按钮，结果如图 7.3.6 所示。

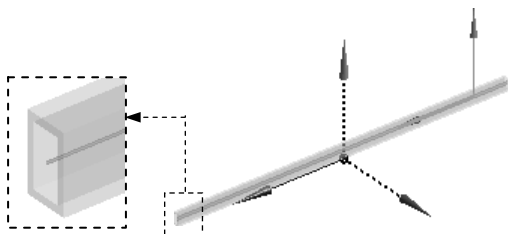


图 7.3.5 定义横截面参数

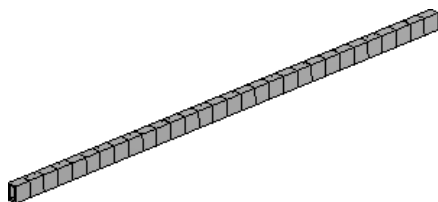


图 7.3.6 划分网格

步骤 08 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快

捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令, 选取图 7.3.7 所示的线体两端点为固定几何对象, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮, 完成固定约束的添加。

步骤 09 添加载荷条件。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令, 选取图 7.3.8 所示的线体, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮, 在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项, 在 **Y Component** 文本框中输入数值 -3000, 其他参数采用系统默认设置。

步骤 10 插入梁工具。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Beam Tool** → **Beam Tool** 命令。



梁工具包括一个直接应力 (Direct Stress)、最小组合应力 (Minimum Combined Stress) 和最大组合应力 (Maximum Combined Stress)。

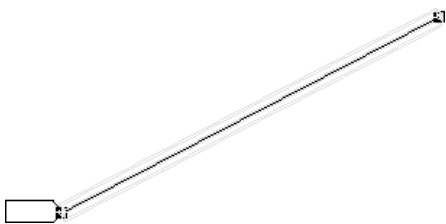


图 7.3.7 添加约束

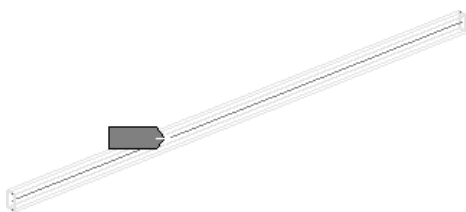


图 7.3.8 添加载荷

步骤 11 插入总位移变形图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Beam Results** → **Bending Moment** 命令。

步骤 12 求解查看应力结果。单击 **Solve** 按钮, 查看图 7.3.9 所示的应力结果。

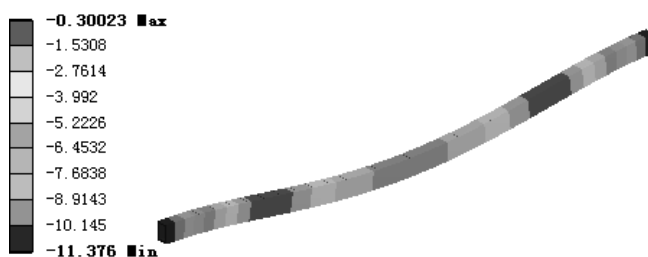
A: Static Structural
Direct Stress
Type: Direct Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014-6-7 15:54



a) Direct Stress

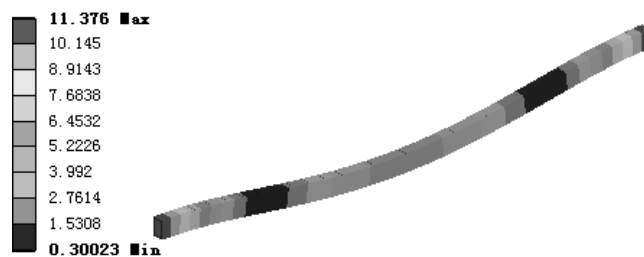


A: Static Structural
Minimum Combined Stress
Type: Minimum Combined Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014-6-7 15:54



b) Minimum Combined Stress

A: Static Structural
Maximum Combined Stress
Type: Maximum Combined Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014-6-7 15:54



c) Maximum Combined Stress

图 7.3.9 主应力和组合应力图解

步骤 13 求解查看弯矩变形结果。如图 7.3.10 所示，其最大弯矩为 $749270 \text{ N} \cdot \text{mm}$ 。

A: Static Structural
Total Bending Moment
Type: Total Bending Moment (Unaveraged)
Unit: $\text{N} \cdot \text{mm}$
Time: 1
2014-6-7 15:55



图 7.3.10 弯矩变形结果图解



步骤 14 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 beam-analysis，单击 **保存(S)** 按钮保存。

7.4 薄壳结构问题分析

7.4.1 分析问题概述

当薄壁构件承受横向载荷作用时，将出现弯曲变形，此时可以用板壳模型来计算。壳主要用于薄面板或曲面的模型，壳分析应用的基本原则是每块面板的主尺寸不低于其厚度的 10 倍。在 ANSYS Workbench 中通常用 18x 系列单元中的 SHELL181 来模拟壳体。

对于薄壁件结构分析，在分析过程中首先根据其结构特点进行简化（一般简化成面体模型），然后对简化模型进行分析，这样既保证了求解精度、简化了建模，又提高了分析效率。

在 ANSYS Workbench 中，先在 DM 中使用中面工具创建薄壁件的面体模型（中面模型），然后对中面模型进行分析即可。下面通过一个实例，具体介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行一般薄壁件结构分析的一般流程。

7.4.2 薄壳结构分析一般流程


图 7.4.1 所示的模型是一个典型的薄壁件，需要创建薄壁件的中面模型进行分析。在本例中模型外圆柱面完全固定，中部圆孔柱面上受到一个力矩作用，材料使用 ANSYS Workbench 默认的材料，对该薄壁件进行分析。

步骤 01 创建 Static Structural 项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中，双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural** 选项，新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中双击 **Geometry** 项目，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，弹出“打开”对话框，选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.04\shell-part-analysis.stp”并打开。在“Static Structural”项目列表中双击 **Geometry** 选项，在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项，单击 **OK** 按钮，进入 DM 建模环境。单击 **Generate** 按钮，完成几何体导入。

步骤 03 提取中面。选择 **Tools** → **Mid-Surface** 命令，弹出“Details View”对话框。按住 Ctrl 键，在模型中依次选取图 7.4.2 所示的曲面 1 和曲面 2 以及其余相互对应的面对（具体选择操作参看视频录像），然后单击 **Apply** 按钮。单击 **Generate** 按钮，完成提取中面的操作，结果如图 7.4.3 所示。

步骤 04 返回 ANSYS Workbench 主界面，采用系统默认的材料，在“Static Structural”项目

列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。



在选择面对时，要先选择壳实体的外表面的面，然后再选择内表面的面，否则会影响后面约束条件的添加。

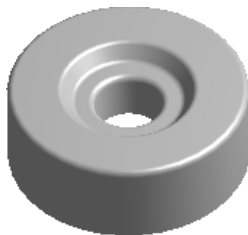


图 7.4.1 薄壁件

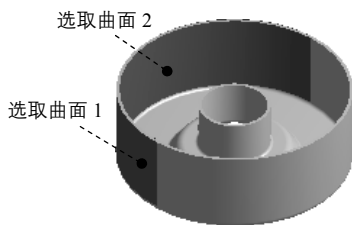


图 7.4.2 定义面对

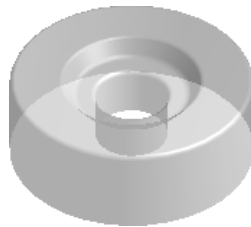










图 7.4.3 中面模型

步骤 05 设置几何体属性。在“Outline”窗口中选中  SHELL-PART-ANALYSIS 几何对象，然后在弹出的“Details of ‘SHELL-PART-ANALYSIS’”对话框中的 Thickness 文本框中输入数值 5.0，并按 Enter 键确认。

步骤 06 划分网格。在“Outline”窗口中右击  Mesh 节点，在弹出的快捷菜单中选择  Generate Mesh 命令，网格划分结果如图 7.4.4 所示。

步骤 07 添加固定约束条件。在“Outline”窗口中右击  Static Structural (A5) 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  Fixed Support 命令，选取图 7.4.5 所示的圆柱面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束的添加。

步骤 08 添加力矩。在“Outline”窗口中单击  Static Structural (A5) 选项，在“Environment”工具栏中选择  Loads  Moment 命令，选取图 7.4.6 所示的圆柱面为几何对象，在 **Geometry** 文本框中单击 **Apply** 按钮确认；在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项，在 X Component 文本框中输入数值 200。完成力矩的添加。

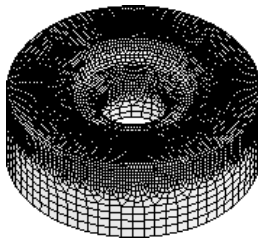


图 7.4.4 划分网格

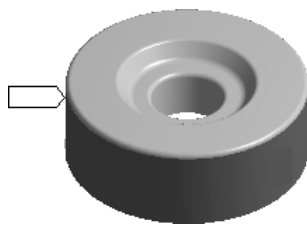


图 7.4.5 添加固定约束条件

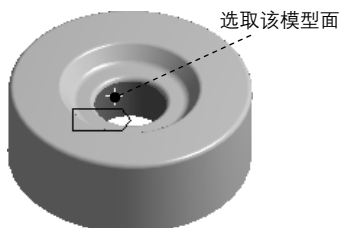



图 7.4.6 添加载荷力

步骤 09 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击  Solution (A6) 选项，在弹出的快捷

菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 10 插入总位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 11 求解并查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.4.7 所示的总应力结果，其最小应力为 0MPa，其最大应力为 0.0042403MPa。

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.4.8 所示的位移变形结果，其最大位移为 1.9006e-6mm。

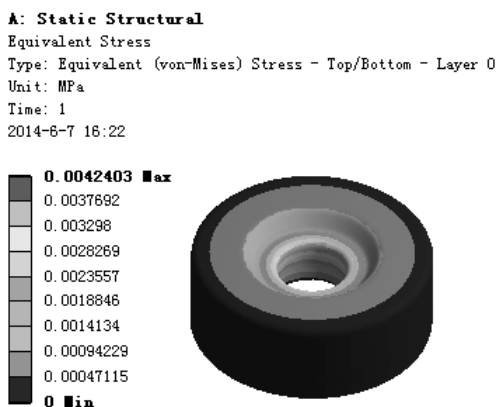


图 7.4.7 应力结果图解

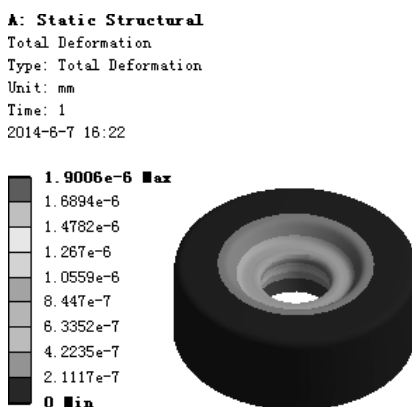


图 7.4.8 位移变形结果图解

步骤 12 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的文件名称文本框中输入 shell-analysis，单击 **保存(S)** 按钮保存。

7.5 平面问题分析

7.5.1 分析问题概述

平面问题分析就是将三维的空间问题简化为近似平面的问题，用二维坐标系来研究三维的空间问题，从而大大缩短了分析的时间，提高了分析的效率。

7.5.2 平面应力问题

平面应力问题的研究对象一般是薄板。薄板指板厚度方面的几何尺寸远远小于其余两个方向上的几何尺寸，同时载荷只有板边上受平行于板面并且不沿厚度变化的面力或约束。满足以

上条件的工程结构通常称为平面应力，其力学模型如图 7.5.1 所示。

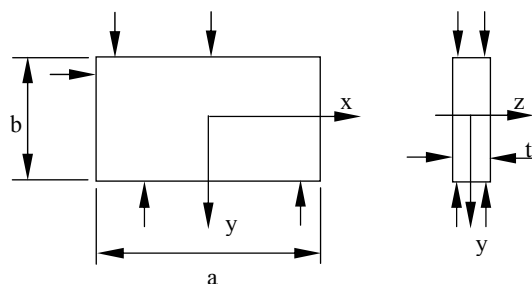


图 7.5.1 平面应力问题

从平面应力的力学模型中不难看出：板面上（ $z = \pm t/2$ ）无外力载荷作用，所以有：

$$(\sigma_z)_{z=\pm \frac{t}{2}} = 0, (\tau_{zx})_{z=\pm \frac{t}{2}} = 0, (\tau_{zy})_{z=\pm \frac{t}{2}} = 0$$

另外，由于板很薄，外力不沿厚度变化，应力沿板的厚度又是连续分布的，因此可以认为对于薄板所有的点都有：

$$\sigma_z = 0, \tau_{zx} = \tau_{xz} = 0, \tau_{zy} = \tau_{yz} = 0$$

其物理方程为：

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu \mu_y) \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu \mu_x) \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} \end{aligned} \right\}$$

对于平面应力问题，在 ANSYS Workbench 中，先是创建结构的 2D 简化模型，然后对其简化模型进行分析，下面通过一个实例，具体介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行平面应力问题分析的一般流程。

图 7.5.2 所示的是一个连接臂模型。左侧两个圆孔完全固定，右侧直杆部位受到一个垂直于杆的载荷力作用，作用力大小为 100N，使连接臂顺时针旋转，连接臂材料为结构钢，分析其应力、位移分布。要完成该问题的分析，可以先根据连接臂几何模型创建图 7.5.3 所示的 2D 简化模型，然后进行平面应力问题分析。

步骤 01 创建 “Static Structural” 项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中，双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**，新建一个 “Static Structural” 项目列表。

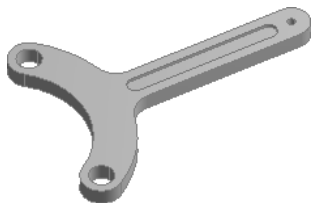


图 7.5.2 连接臂模型



图 7.5.3 2D 简化模型

步骤02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** **Browse...** 命令，弹出“打开”对话框；选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.05\plane-stress-analysis.stp”并打开。双击 选项，在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 选项，单击 **OK** 按钮，系统进入 DM 建模环境。单击 按钮，完成几何体的导入。

步骤03 创建图 7.5.4b 所示的填充 1。选择 **Tools** **Fill** 命令，弹出“Details View”对话框；在 **Extraction Type** 下拉列表中选择 **By Cavity** 选项，单击以激活 **Faces** 后的文本框，选取图 7.5.4a 所示的圆柱面，单击 **Apply** 按钮，并单击 按钮，完成填充的创建。

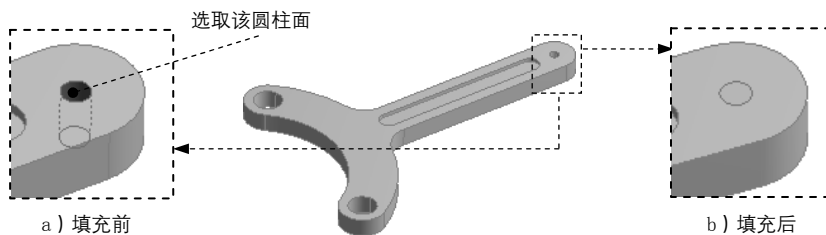


图 7.5.4 填充 1

步骤04 创建图 7.5.5 所示的填充 2。选择 **Tools** **Fill** 命令，弹出“Details View”对话框；在 **Extraction Type** 下拉列表中选择 **By Cavity** 选项，单击以激活 **Faces** 后的文本框，选取图 7.5.6 所示的槽内所有表面，单击 **Apply** 按钮，并单击 按钮，完成填充 2 的创建。

步骤05 创建解冻。选择 **Tools** **Unfreeze** 命令，在图形区选取填充 1 和填充 2 的实体为解冻对象，单击 **Apply** 按钮，单击 按钮，完成解冻操作，如图 7.5.7 所示。

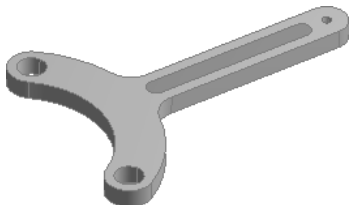


图 7.5.5 填充 2

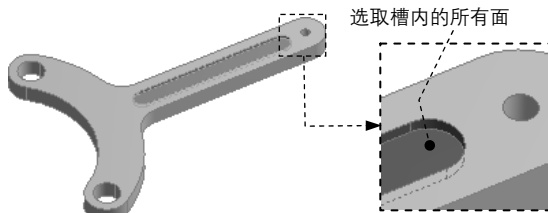


图 7.5.6 选取填充区域对象

步骤 06 创建图 7.5.8b 所示的抽取面。选择 **Create** \rightarrow **Thin/Surface** 命令，弹出“Details View”对话框；在 **Selection Type** 下拉列表中选择 **Faces to Keep** 选项，选取图 7.5.8a 所示的模型表面为要保留的面，单击 **Apply** 按钮确认，在对话框的 **FD1, Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 0，并单击 **Generate** 按钮，完成抽取面的创建。

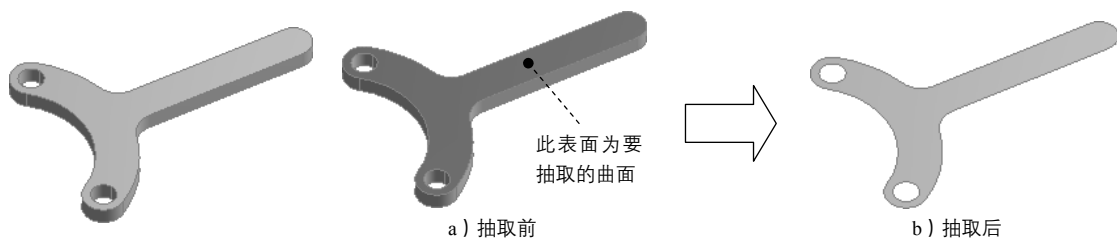


图 7.5.7 解冻

图 7.5.8 创建抽取面



在平面应力问题分析中，抽取的面必须位于绝对坐标系的 XY 平面中，否则系统不进行平面应力分析。

步骤 07 修改几何属性(注：本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\文件下的语音视频讲解文件“plane-stress-analysis-r01.exe”)。

步骤 08 采用系统默认的材料，在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 09 定义分析类型(注：本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\文件下的语音视频讲解文件“plane-stress-analysis-r02.exe”)。

步骤 10 划分网格。在“Outline”窗口中选中 **Mesh** 节点，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框；在对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，单击 **Update** 按钮，划分网格，网格划分结果如图 7.5.9 所示。

步骤 11 创建图 7.5.10 所示的坐标系。在“Outline”窗口中右击 **Coordinate Systems** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** \rightarrow **Coordinate System** 命令，弹出“Details of ‘Coordinate System’”对话框；在 **Origin** 区域中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 7.5.11 所示的模型边线为参考，单击 **Apply** 按钮；在 **Principal Axis** 区域 **Axis** 下拉列表中选择 **X** 选项，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Geometry Selection** 选项，选取图 7.5.10 所示的模型边线为 X 轴参考，并单击 **Apply** 按钮（注意调整 X 轴方向）。完成坐标系的创建。

步骤 12 添加固定约束条件。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** \rightarrow **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。

框；选取图 7.5.12 所示的两条边线为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，结果如图 7.5.13 所示。

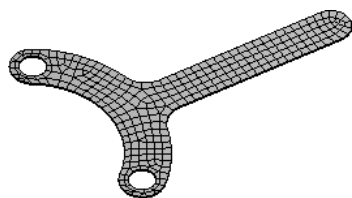


图 7.5.9 划分网格

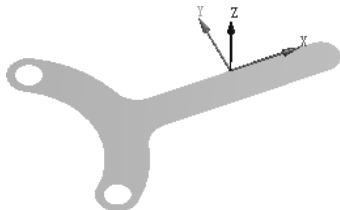


图 7.5.10 创建坐标系

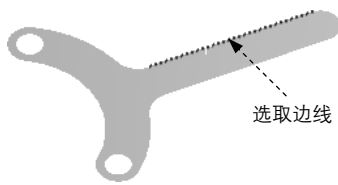


图 7.5.11 选取坐标系参考

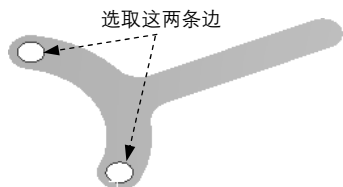


图 7.5.12 定义固定对象

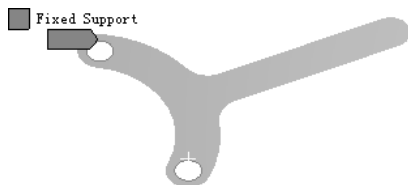


图 7.5.13 添加固定约束条件

步骤 13 添加载荷力。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”对话框；选取图 7.5.14 所示的边线，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项，在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项，在 **Y Component** 文本框中输入数值 -100N，其他参数采用系统默认设置，结果如图 7.5.15 所示。

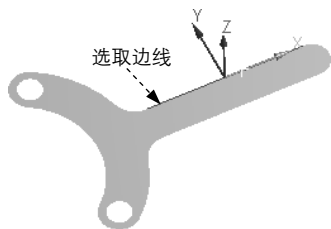


图 7.5.14 选取几何对象

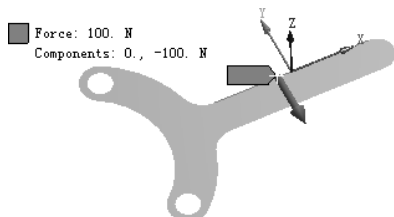


图 7.5.15 添加载荷力

步骤 14 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。


步骤 15 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 16 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.5.16 所示的

应力结果，其最小应力为 0.011398 MPa，其最大应力为 74.588 MPa。

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中  Total Deformation，查看图 7.5.17 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.14487 mm。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014-6-7 16:57



图 7.5.16 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014-6-7 16:57

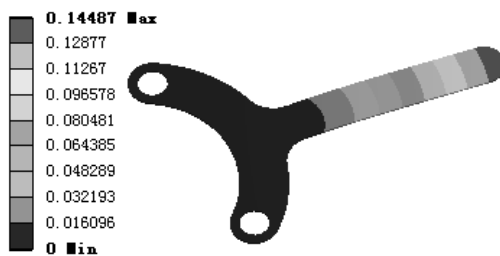


图 7.5.17 位移变形结果图解

步骤 17 保存文件。选择 **File**  **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 plane-stress-analysis，单击 **保存(S)** 按钮保存。

7.5.3 平面应变问题

对于很长的构件（如等截面的直管道和水坝等），若它的横截面不沿长度变化，受到平行于横截面并且不沿长度变化的面力或约束。同时，体力（如重力）等也平行于横截面并且不沿长度变化，这种情况称为平面应变。

在工业生产中，常常需要一些承受较大压力的圆筒形容器，如储存及输送高压液体或气体的容器及管道、液压传动中的油缸及泵体、高压反应罐、枪筒或炮筒等。为了使容器能够承受较大的压力，这些容器的壁厚都比较厚，一般叫作厚壁筒，这类结构不能使用薄壳来处理，主要使用平面应力来处理。

若以横截面为 XY 面，任一纵线为 z 轴，则所有的应力、应变和位移都不沿 z 方向变化，因而只是 x 和 y 的函数，故有：

$$w = 0, \quad \varepsilon_z = 0, \quad \tau_{zx} = 0, \quad \tau_{yz} = 0$$

一般情况下有：

$$\sigma_z \neq 0, \quad \sigma_x, \quad \sigma_y \text{ 与 } \tau_{xy} \neq 0$$

其物理方程为：

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_x - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_y \right) \\ \varepsilon_y &= \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_y - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_x \right) \\ \gamma_{xy} &= \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} \end{aligned} \right\}$$

对于平面应变问题，在 ANSYS Workbench 中，先是创建结构的 2D 简化模型，然后对其简化模型进行分析，下面通过一个实例，具体介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行平面应变问题分析的一般流程。

图 7.5.18 所示的厚圆筒模型，受到内部压力为 100MPa，因为圆筒是中心轴对称零件，应力和变形同样呈中心轴对称分布，可以取零件的四分之一进行分析，然后进一步简化，根据平面应变原理，取四分之一模型的一个截面进行分析，得到图 7.5.19 所示的 2D 简化模型，对该简化模型进行分析即可，下面具体介绍其分析流程。

步骤 01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中，双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**，新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，弹出“打开”对话框，选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.05\plane-strain-analysis.stp”并打开。双击 **Geometry** 选项，在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项，单击 **OK** 按钮，系统进入 DM 建模环境。单击 **Generate** 按钮，完成几何体的导入。

步骤 03 创建图 7.5.20 所示的对称 1。选择 **Tools** → **Symmetry** 命令，弹出“Details View”对话框；选取 **YZPlane** 平面为对称平面，单击 **Apply** 按钮，单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成对称 1 的创建。

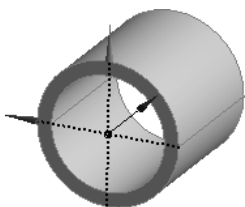


图 7.5.18 厚圆筒模型

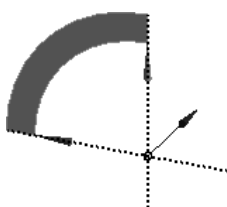


图 7.5.19 2D 简化模型

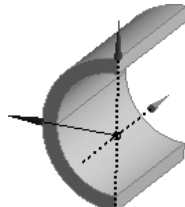


图 7.5.20 对称 1

步骤 04 创建图 7.5.21 所示的对称 2。选择 **Tools** → **Symmetry** 命令，弹出“Details View”对话框；选取 **ZXPlane** 平面为对称平面，单击 **Apply** 按钮，单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成对称 2 的创建。

钮，完成对称 2 的创建。

步骤 05 创建图 7.5.22b 所示的抽取面。选择 **Create** \rightarrow **Thin/Surface** 命令，弹出“Details View”对话框；在对话框中的 **Selection Type** 下拉列表中选择 **Faces to Keep** 选项，选取图 7.5.22a 所示的模型表面，单击 **Apply** 按钮，在对话框的 **FD1, Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 0。单击 **Generate** 按钮，完成抽取面的创建。



在平面应变问题分析中，抽取的面必须位于绝对坐标系的 XY 平面中，否则系统不进行平面应变分析，这一点和平面应力问题类似。

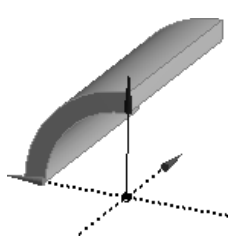
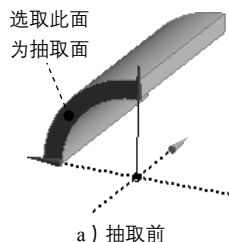
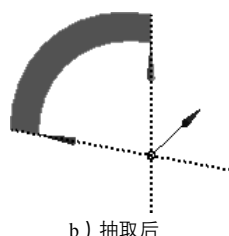
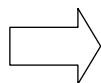


图 7.5.21 对称 2



a) 抽取前



b) 抽取后

图 7.5.22 创建抽取面

步骤 06 修改几何属性(注：本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\文件下的语音视频讲解文件“plane-strain-analysis-r01.exe”)。

步骤 07 采用系统默认的材料，在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 08 定义分析类型(注：本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\文件下的语音视频讲解文件“plane-strain-analysis-r02.exe”)。

步骤 09 划分网格。在“Outline”窗口中单击 **Mesh** 节点，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框；在 **Relevance** 文本框中输入数值 100，单击 **Update** 按钮，网格划分结果如图 7.5.23 所示。

步骤 10 创建图 7.5.24 所示的坐标系。在“Outline”窗口中右击 **Coordinate Systems** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** \rightarrow **Coordinate System** 命令，弹出“Details of ‘Coordinate Systems’”对话框；在 **Type** 下拉列表中选择 **Cylindrical** 选项；在 **Origin** 区域中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 7.5.25 所示的模型边线为参考对象，单击 **Apply** 按钮；在 **Principal Axis** 区域中的 **Axis** 下拉列表中选择 **X** 选项，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Global X Axis** 选项。其他参数采用系统默认设置，完成坐标系的创建。

步骤 11 添加压力载荷。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** \rightarrow **Pressure** 命令，弹出“Details of ‘Pressure’”对话框；选取图 7.5.26 所示的边线，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，在 **Definition** 区域的 **Define By** 下拉列

表中选择 **Normal To** 选项, 在 **Magnitude** 文本框中输入数值 100MPa; 结果如图 7.5.26 所示。

步骤 12 添加无摩擦支撑约束条件。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 节点, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Frictionless Support** 命令, 弹出“Details of ‘Frictionless Support’”对话框; 选取图 7.5.27 所示的两条边线为对象, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮, 结果如图 7.5.27 所示。

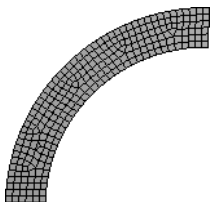


图 7.5.23 划分网格



图 7.5.24 创建坐标系

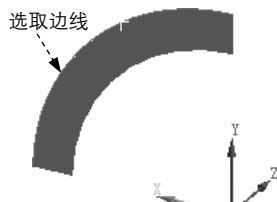


图 7.5.25 选取参考对象

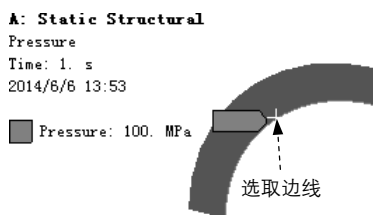


图 7.5.26 添加压力载荷

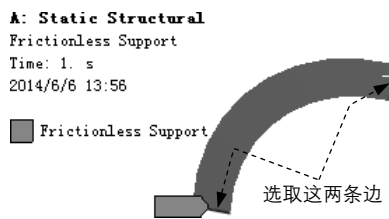


图 7.5.27 添加无摩擦支撑约束



步骤 13 插入构造几何。在“Outline”窗口中选中 **Model (A4)** 节点, 在“Model”工具栏中单击 **Construction Geometry** 按钮, 插入一个构造几何节点。



步骤 14 创建路径 Path(注: 本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\ 文件下的语音视频讲解文件“plane-strain-analysis-r03.exe”)。

步骤 15 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。


步骤 16 插入径向应力。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Normal** 命令, 弹出“Details of ‘Normal Stress’”对话框; 在 **Definition** 区域的 **Orientation** 下拉列表中选择 **X Axis** 选项, 在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项, 其他参数采用系统默认设置。


步骤 17 插入切向应力。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 节点, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Normal** 命令, 弹出“Details of ‘Normal Stress2’”对话框; 在 **Definition** 区域的 **Orientation** 下拉列表中选择 **Y Axis** 选项, 在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项, 其他参数采用系统默认设置。


步骤 18 插入径向应力（路径 Path）。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** →  **Normal** 命令，弹出“Details of ‘Normal Stress3’”对话框；在 **Scope** 区域的 **Scoping Method** 下拉列表中选择 **Path** 选项，在 **Path** 下拉列表中选择 **Path** 选项；在 **Definition** 区域的 **Orientation** 下拉列表中选择 **X Axis** 选项，在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项，其他参数采用系统默认设置。

步骤 19 插入切向应力（路径 Path）。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** →  **Normal** 命令，弹出“Details of ‘Normal Stress4’”对话框；在 **Scope** 区域的 **Scoping Method** 下拉列表中选择 **Path** 选项，在 **Path** 下拉列表中选择 **Path** 选项；在 **Definition** 区域的 **Orientation** 下拉列表中选择 **Y Axis** 选项，在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项，其他参数采用系统默认设置。

步骤 20 求解查看应力及位移变形结果。

（1）求解分析。在顶部工具栏中单击  **Solve** 按钮求解分析。

（2）查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Total Deformation**，查看图 7.5.28 所示的位移变形结果，其最小位移为 0.080889 mm，其最大位移为 0.090711 mm。

（3）查看径向应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Normal Stress**，查看图 7.5.29 所示的径向应力结果，其最小径向应力为 -99.99 MPa，其最大径向应力为 0.15031 MPa。

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/6 14:14

0.090711 Max
0.08962
0.088529
0.087437
0.086346
0.085254
0.084163
0.083072
0.08198
0.080889 Min



图 7.5.28 位移变形结果图解

A: Static Structural
Normal Stress
Type: Normal Stress(X Axis)
Unit: MPa
Coordinate System
Time: 1
2014-6-7 17:39

0.15031 Max
-10.976
-22.103
-33.23
-44.356
-55.483
-66.61
-77.736
-88.863
-99.99 Min

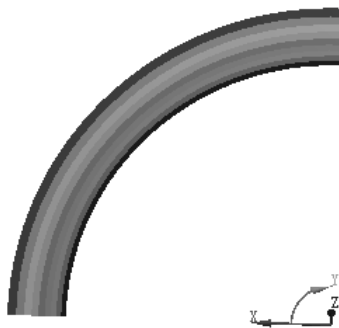




图 7.5.29 径向应力结果图解

（4）查看切向应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Normal Stress 2**，查看图 7.5.30 所示的切向应力结果，其最小切向应力为 355.41 MPa，其最大切向应力为 455.57 MPa。

（5）查看沿路径 Path 径向应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Normal Stress 3**，查看图 7.5.31 所示的径向应力（路径 Path）结果，其最小应力为 -99.94 MPa，其最大应力为 0.037412

MPa；在“Graph”窗口中显示图 7.5.32 所示的路径图变化情况。

A: Static Structural
Normal Stress 2
Type: Normal Stress(Y Axis)
Unit: MPa
Coordinate System
Time: 1
2014-6-7 17:39



图 7.5.30 切向应力结果图解

A: Static Structural
Normal Stress 3
Type: Normal Stress(X Axis)
Unit: MPa
Coordinate System
Time: 1
2014-6-7 17:39



图 7.5.31 径向应力（路径 Path）结果图解

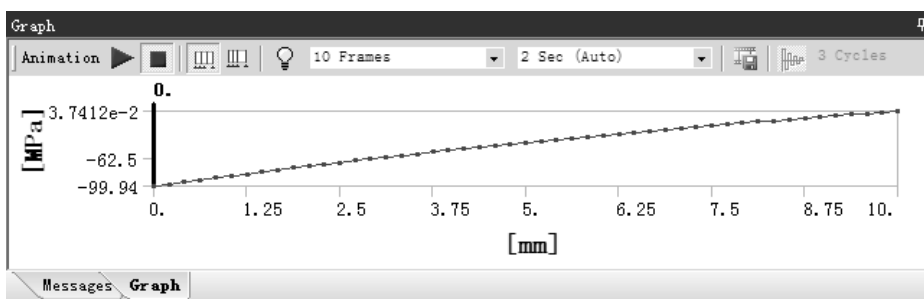


图 7.5.32 径向应力（路径 Path）图表

（6）查看沿路径 Path 切向应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 Normal Stress 4，查看图 7.5.33 所示的切向应力(路径 Path)结果,其最小应力为 355.51 MPa,其最大应力为 455.48MPa；在“Graph”窗口中显示图 7.5.34 所示的路径图变化情况。

A: Static Structural
Normal Stress 4
Type: Normal Stress(Y Axis)
Unit: MPa
Coordinate System
Time: 1
2014/6/6 14:22



图 7.5.33 切向应力（路径 Path）结果图解

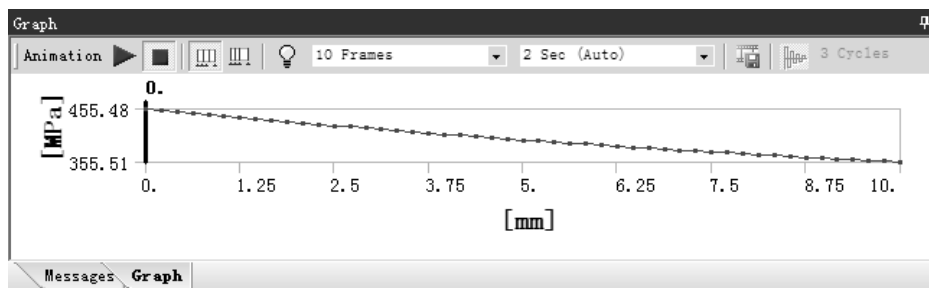


图 7.5.34 切向应力（路径 Path）图表

步骤 21 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 plane-strain-analysis，单击 **保存(S)** 按钮保存。

7.5.4 轴对称问题

构件的几何形状、约束情况及所受的外力都对称于空间的某一根轴，在此构件中通过该轴的任何平面都是对称面。那么所有应力、应变和位移也对称于该轴，这类问题在力学上称为轴对称问题。

研究轴对称问题时通常采用圆柱坐标系 (r, θ, z) ，以 Z 轴为对称轴，其约束及载荷也都对称于 Z 轴，因此，弹性体内各点的各项应力分量、应变分量和位移分量都与环向坐标 θ 无关，只是与径向坐标 r 和轴向坐标 z 有关。所以，在任何一个过 Z 轴的旋转剖面上的位移、应力和应变的分布规律都相同。因此，只要分析任意一个旋转剖面上的位移、应力和应变情况即可，这样，空间轴对称问题就转换成平面问题了，在 ANSYS Workbench 中将分析类型定义为 **Axisymmetric** 即可进行轴对称分析。

对称于 Z 轴的应力在极坐标仅仅是半径 ρ 的函数，不依赖于 ϕ 且剪应力为零，因而有 $\phi = \phi(\rho)$ ，这个四阶常微分方程的通解为：

$$\Phi = A \ln \rho + B \rho^2 \ln \rho + C \rho^2 + D$$

其中 A、B、C 和 D 是常数，而轴对称物理方程（应力）的通解为：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\rho} &= \frac{A}{\rho^2} + B(1 + 2 \ln \rho) + 2C \\ \sigma_j &= \frac{A}{\rho^2} + B(3 + 2 \ln \rho) + 2C \end{aligned} \right\}$$

$$\tau_{\rho j} = \tau_{j\rho} = 0$$

形变分量为：

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\rho} &= \frac{1}{E} \left[(1+\mu) \frac{A}{\rho^2} + (1-3\mu)B + 2(1-\mu)B \ln \rho + 2(1-\mu)C \right] \\ \varepsilon_j &= \frac{1}{E} \left[-(1+\mu) \frac{A}{\rho^2} + (1-\mu)B + 2(1-\mu)B \ln \rho + 2(1-\mu)C \right] \end{aligned} \right\}$$

$$\gamma_{\rho j} = 0$$

在处理轴对称问题中需要注意以下问题。

系统默认的对称轴是 Y 轴。

只研究旋转剖面，旋转剖面必须全部在相关的笛卡儿坐标系的 X 轴的正向。

旋转剖面中落在 Y 轴上的点、线只有沿 Y 轴方向的平动自由度，因此，如果不需要约束这些点、线沿 Y 轴方向的运动，就无须对它们施加约束了。

对于轴对称问题分析，在 ANSYS Workbench 中，先创建结构的 2D 简化模型，然后对其简化模型进行分析，下面通过一个实例，具体介绍在 ANSYS Workbench14.0 中进行轴对称问题分析的一般流程。

图 7.5.35 所示的压力容器盖帽模型受到的内部压力为 200Mpa，因为压力容器盖帽呈轴对称布局，取零件的四分之一进行分析，然后进一步进行简化，根据轴对称原理，取四分之一模型的一个旋转截面进行分析，得到图 7.5.36 所示的 2D 简化模型，对该简化模型进行分析即可，下面具体介绍其分析流程。

步骤 01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中，双击 **Toolbox** 工具箱中 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**，新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令，弹出“打开”对话框。选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.05\axisymmetric-analysis.stp”并打开。双击 **Geometry** 选项，在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选项，单击 **OK** 按钮，系统进入 DM 建模环境。单击 **Generate** 按钮，完成几何体的导入。

步骤 03 创建图 7.5.37 所示的对称 1。选择 **Tools** → **Symmetry** 命令，弹出“Details View”对话框；选取 **XYPlane** 平面为对称平面，单击 **Apply** 按钮，单击工具条中的 **Generate** 按钮，完成对称 1 的创建。



图 7.5.35 压力容器盖帽模型

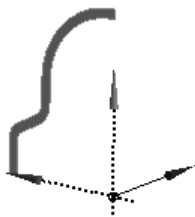


图 7.5.36 2D 简化模型

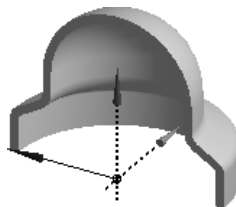


图 7.5.37 对称 1

步骤 04 创建图 7.5.38 所示的对称 2。选择 **Tools** → **Symmetry** 命令,弹出“Details View”对话框;选取 **YZPlane** 平面为对称平面,单击 **Apply** 按钮,单击工具条中的 **Generate** 按钮,完成对称 2 的创建。

步骤 05 创建图 7.5.39b 所示的抽取面。选择 **Create** → **Thin/Surface** 命令,弹出“Details View”对话框;在 **Selection Type** 下拉列表中选择 **Faces to Keep** 选项,选取图 7.5.39a 所示的模型表面为要保留的面,单击 **Apply** 按钮,在对话框的 **FD1, Thickness (>=0)** 文本框中输入数值 0。单击 **Generate** 按钮,完成抽取面的创建。

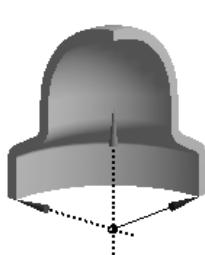
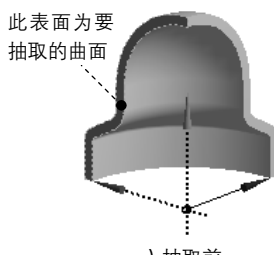
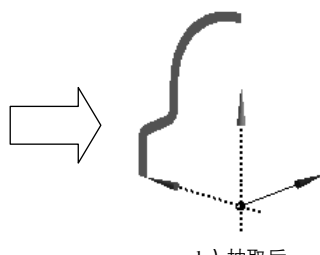


图 7.5.38 对称 2



a) 抽取前



b) 抽取后

图 7.5.39 创建抽取面



注意 在轴对称问题分析中,抽取的面必须位于绝对坐标系的 XY 平面中,其中 Y 轴为旋转轴,否则系统不进行轴对称分析,这一点和平面应力、平面应变问题类似。

步骤 06 修改几何属性(注:本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\文件下的语音视频讲解文件“axisymmetric-analysis-r01.exe”)。

步骤 07 采用系统默认的材料,在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项,进入“Mechanical”环境。

步骤 08 定义分析类型(注:本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.05\reference\文件下的语音视频讲解文件“axisymmetric-analysis-r02.exe”)。

步骤 09 整理约束。在“Outline”窗口中展开 **Symmetry** 节点下所有内容,如图 7.5.40

所示, 右击 Symmetry Region 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Delete 命令, 在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中单击 是(Y) 按钮, 将其删除。

步骤 10 划分网格。在“Outline”窗口中选中 Mesh 节点, 弹出“Details of ‘Mesh’”对话框; 在 Relevance 文本框中输入数值 100, 单击 Update 按钮, 网格划分结果如图 7.5.41 所示。



图 7.5.40 展开的所有项

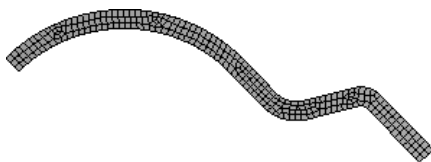


图 7.5.41 划分网格

步骤 11 添加无摩擦支撑约束条件。在“Outline”窗口中右击 Static Structural (A5) 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Insert Frictionless Support 命令, 弹出“Details of ‘Frictionless Support’”对话框; 选取图 7.5.42 所示的边线 1 为对象, 在 Geometry 后的文本框中单击 Apply 按钮, 结果如图 7.5.42 所示。

步骤 12 添加固定约束条件。在“Outline”窗口中右击 Static Structural (A5) 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Insert Fixed Support 命令, 弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框; 选取图 7.5.42 所示的边线 2 为固定对象, 在 Geometry 后的文本框中单击 Apply 按钮。

步骤 13 添加压力载荷。在“Outline”窗口中右击 Static Structural (A5) 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Insert Pressure 命令, 弹出“Details of ‘Pressure’”对话框; 选取图 7.5.43 所示的边线, 在 Geometry 后的文本框中单击 Apply 按钮, 在 Definition 区域的 Define By 下拉列表中选择 Normal To 选项, 在 Magnitude 文本框中输入数值 200MPa, 结果如图 7.5.43 所示。

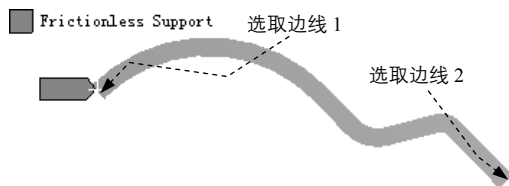


图 7.5.42 添加无摩擦支撑约束

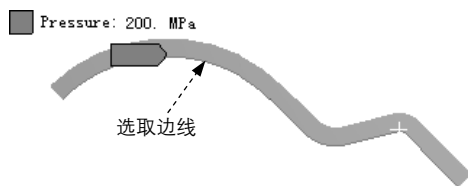


图 7.5.43 添加压力载荷

步骤 14 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 Solution (A6) 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Insert Stress Equivalent (von-Mises) 命令。

步骤 15 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 Solution (A6) 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Insert Deformation Total 命令。

步骤 16 插入应变结果图解。在“Outline”窗口中右击 Solution (A6) 选项, 在弹出的快捷

菜单中选择 **Insert** → **Strain** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 17 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。单击 **Solve** 按钮，在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.5.44 所示的总应力结果，其最小应力为 366.54 MPa，其最大应力为 8797.3 MPa。

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.5.45 所示的位移变形结果，其最小位移为 0 mm，其最大位移为 6.6739 mm。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/6 15:34

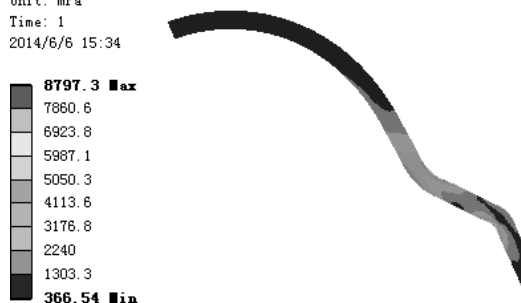


图 7.5.44 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/6 15:35

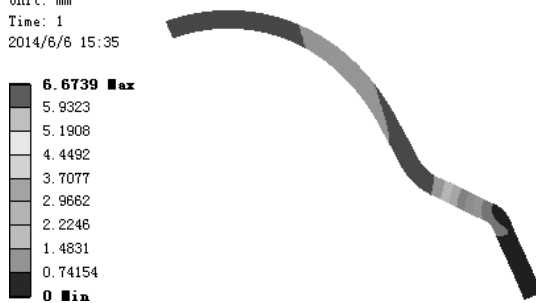


图 7.5.45 位移变形结果图解

(4) 查看应变结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Elastic Strain**，查看图 7.5.46 所示的应变结果，其最小应变为 0.0018378 mm/mm，其最大应变为 0.044149 mm/mm。

A: Static Structural
Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent Elastic Strain
Unit: mm/mm
Time: 1
2014/6/6 15:36

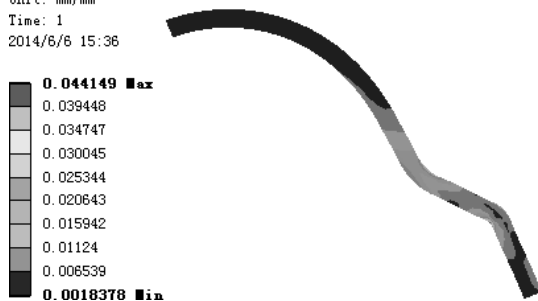


图 7.5.46 应变结果图解

步骤 18 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 axisymmetric-analysis，单击 **保存(S)** 按钮保存。

7.6 接触问题分析

7.6.1 接触问题概述



接触问题是一种高度非线性行为，计算时需要较大的计算资源。

当两个不同物体的表面互相接触，具有一定的公共区域时，就称它们处于接触状态，一般接触的两个物体具有以下特点：

- ◆ 不同物体的表面不互相渗透。
- ◆ 不同物体间可以传递正压力和切向摩擦力。
- ◆ 一般不能传递法向拉伸力。

接触属于状态变化的非线性，也就是说，系统的刚度依赖于接触状态。实际接触体互相不渗透，因此，程序内部必须在这两个面间建立某种关系，以防止它们在有限元分析中相互穿过，程序防止相互穿透时，称为强制接触协调。

7.6.2 接触类型介绍

对于导入 ANSYS Workbench 有限元环境中的装配几何体，系统会自动根据几何体之间的间隙值自动设置接触类型。在“Outline”窗口中会自动生成一个  **Connections** 节点，在节点下单击选中  **Contacts** (图 7.6.1)，弹出图 7.6.2 所示的“Details of Contacts”对话框。在该对话框中可以设置接触几何对象的范围，探测公差类型及容差值等参数。



学习本小节内容，读者可以打开文件“D:\ansc14.0\work\ch07.06\contacts-define.wbpj”进行相关操作。

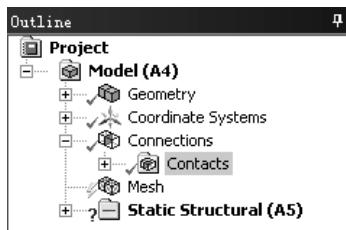


图 7.6.1 “Outline”窗口 (一)

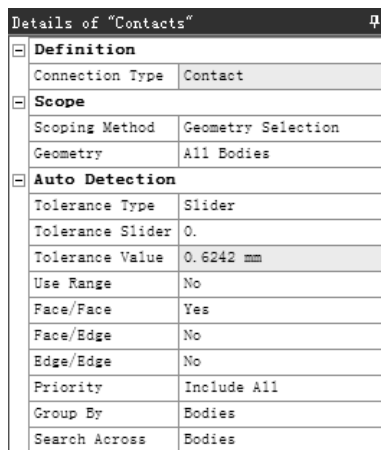



图 7.6.2 “Details of Contacts”对话框

图 7.6.2 所示的“Details of ‘Contacts’”对话框各选项说明如下。

- ◆ **Tolerance Type** 下拉列表：用于设置系统自动探测接触距离的容差类型，包括以下三种类型可供选择。
 - **Slider** 选项：选中该选项，在对话框的 **Tolerance Slider** 文本框中拖动滑块可调整探测容差值。
 - **Value** 选项：选中该选项，在对话框的 **Tolerance Value** 文本框中输入探测容差值。
 - **Use Sheet Thickness** 选项：在对话框的 **Thickness Scale Factor** 文本框中输入厚度因子作为探测容差值。
- ◆ **Face/Face** 下拉列表：用于设置探测面与面的接触，默认 **Yes** 选项，选择 **No** 选项，系统不探测面与面的接触。
- ◆ **Face/Edge** 下拉列表：用于设置探测面与边的接触，默认 **No** 选项，选择 **Yes** 选项，系统探测面与边的接触。
- ◆ **Edge/Edge** 下拉列表：用于设置探测边与边的接触，默认 **No** 选项，选择 **Yes** 选项，系统探测边与边的接触。

在“Outline”窗口中展开  **Contacts** 节点，在其节点下有系统自动探测到的三对接触区域（图 7.6.3），选中两对接触，在图形区对应部位将显示接触对，如图 7.6.4 所示。

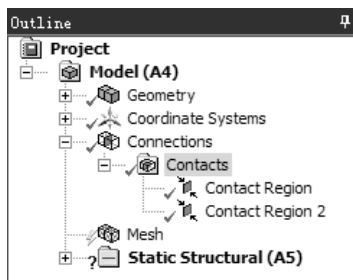


图 7.6.3 “Outline”窗口（二）

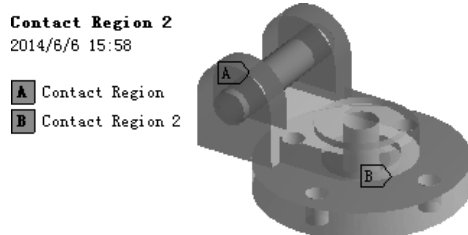



图 7.6.4 接触区域

在“Outline”窗口中右击  **Contacts** 节点，在弹出的快捷菜单中选择  **Rename Based on Definition** 命令，系统对各接触对重命名，命名中包括接触类型及接触的两个几何体对象名称，默认的接触类型为绑定（Bonded），如图 7.6.5 所示。

分析最初的这些接触对都是系统自动探测并定义的，并不一定符合实际情况，一般需要用户手动定义与修改。在  **Contacts** 节点下选中任一接触对，弹出图 7.6.6 所示的“定义接触参数”对话框，该对话框主要用于定义接触对象、接触类型及接触的其他详细参数。

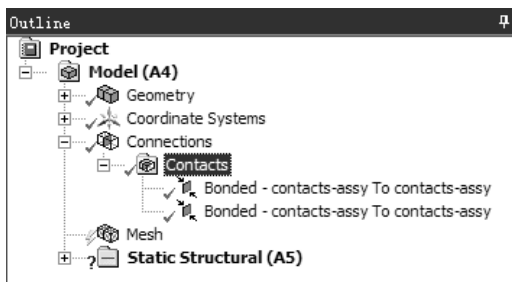


图 7.6.5 “Outline”窗口 (三)

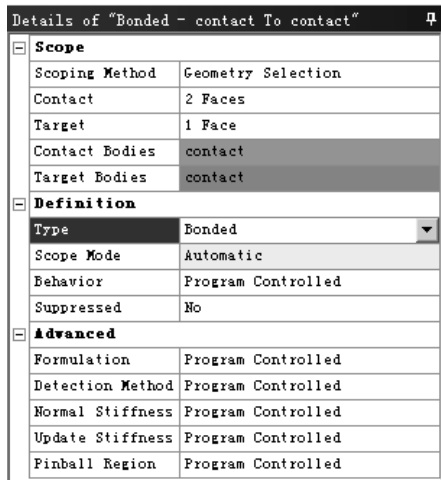


图 7.6.6 “定义接触参数”对话框

图 7.6.6 所示的定义接触参数对话框各选项说明如下。

◆ **Contact** 文本框：用于定义接触面。

◆ **Target** 文本框：用于定义目标面。

说明：接触区域中的一个表面作为接触面，另一个表面作为目标面，其中接触面不能穿透目标面。此处定义的接触面和目标面与后面将介绍的接触行为的定义有关，后面会详细介绍。

◆ **Type** 下拉列表：用于定义接触类型，在 Workbench 中包括以下五种接触类型。

- **Bonded** 选项：用于定义绑定接触区域，也是系统默认的接触类型。
- **No Separation** 选项：用于定义不分离接触区域。
- **Frictionless** 选项：用于定义无摩擦接触区域。
- **Rough** 选项：用于定义粗糙接触区域。
- **Frictional** 选项：用于定义有摩擦接触区域。




◆ **Behavior** 下拉列表：用于设置接触行为模式，包括以下三种行为模式。

- **Asymmetric** 选项：定义接触区域为非对称接触，非对称接触就是指两个面中一个面是接触面，另一个面为目标面。
- **Symmetric** 选项：定义接触区域为对称接触，对称接触就是指两个面都为接触面或两个面都为目标面。
- **Auto Asymmetric** 选项：定义为自动非对称接触。

说明：接触类型详细特点如表 7.6.1 所示。

表 7.6.1 接触类型特点


接触类型	迭代次数	法向分离	切向滑移
绑定	1 次	无间隙	不能滑移
不分离	1 次	无间隙	允许滑移
无摩擦	多次	允许有间隙	允许滑移
粗糙	多次	允许有间隙	不能滑移
有摩擦	多次	允许有间隙	允许滑移

在  **Contacts** 节点下选中任一接触对，系统在图形区显示对应的接触区域（图 7.6.7），在界面的顶部工具栏按钮区单击  **Body Views** 按钮，打开图 7.6.8 所示的“Body View”窗口，在该窗口中分别显示接触体与目标体；单击  **Sync Views** 按钮，将图形区的模型与接触体和目标体窗口中的模型同步，旋转其中任何一个几何体，其他几何体都将一起同步旋转，读者可自行操作。

1. 定义绑定接触

绑定接触就是两个物体之间不能分开不能滑移。在一些装配体中，如果某几个零部件的运动始终都是一致的，像这样的几个零件之间的接触就可以定义成绑定接触，将它们看成一个整体。下面以图 7.6.9 所示的模型为例介绍定义绑定接触的一般操作过程。

Bonded - contacts-assy To contacts-assy
2014/6/6 16:07

 Bonded - contacts-assy To contacts-assy

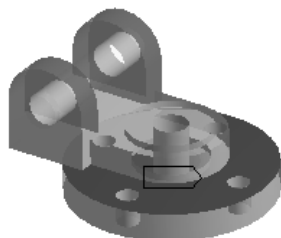


图 7.6.7 显示接触

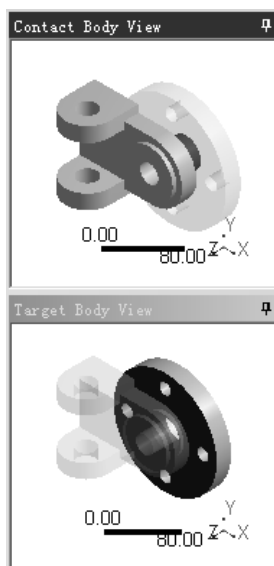





图 7.6.8 “Body View”窗口



图 7.6.9 定义绑定接触

步骤 01 打开文件并进入界面。选择  **File**   **Open...** 命令，打开文件

“D:\ansc14.0\work\ch07.06\bonded-contacts.wbpj”，在项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境中。

步骤 02 查看接触。在“Outline”窗口中展开  Connections 节点，在  Contacts 节点下有系统自动探测到的 25 对接触区域，如图 7.6.10 所示。

步骤 03 定义接触对。

(1) 在“Outline”窗口中选中  Contact Region 接触对，弹出“定义接触参数”对话框。

(2) 定义接触对象。采用系统默认的接触对象。

(3) 定义接触类型。在 Type 下拉列表中选择 Bonded 选项，其他参数采用系统默认设置。

定义接触参数对话框中的 **Advanced**（高级设置）区域部分选项说明如下。

◆ **Formulation** 下拉列表：用于定义接触公式，在物理上，接触体之间不相互渗透，因而程序须建立两表面间的相互关系阻止分析中的穿透，为保证接触界面的强制协调关系，在 ANSYS Workbench 中提供了以下四种接触公式。



- **Augmented Lagrange** 选项：增强拉格朗日法。
- **Pure Penalty** 选项：罚函数法。
- **MPC** 选项：多点约束方法。
- **Normal Lagrange** 选项：拉格朗日法。

◆ **Normal Stiffness** 下拉列表：用于控制法向接触刚度，是影响精度和收敛行为最重要的参数，接触刚度越大，结果越精确，收敛也越困难。ANSYS Workbench 中提供了 **Manual**（手动）和 **Program Controlled**（程序控制）两种方式。当选取 **Manual** 方式后，用户可以在 **Normal Stiffness Factor**（法向刚度因子）中定义数值，其值越小，接触刚度就越小；在实际应用中，对于以体积为主的问题，其法向刚度因子为 1，对于以弯曲为主的问题，其法向刚度因子在 0.01~0.1。

◆ **Update Stiffness** 下拉列表：用于刷新接触刚度，包括以下三种方式。

- **Never** 选项：从不刷新。
- **Each Iteration** 选项：每次迭代后刷新。
- **Each Iteration, Aggressive** 选项：每次迭代后强制刷新。

步骤 04 定义剩余接触对。参照步骤 3 的操作对剩余接触对进行接触定义。

步骤 05 重命名接触对。在“Outline”窗口中右击  Contacts 节点，在弹出的快捷菜单中选择  **Rename Based on Definition** 命令，系统对各接触对重命名，命名中包括接触类型及接触的两个几何体对象名称，如图 7.6.11 所示，完成绑定接触的定义。

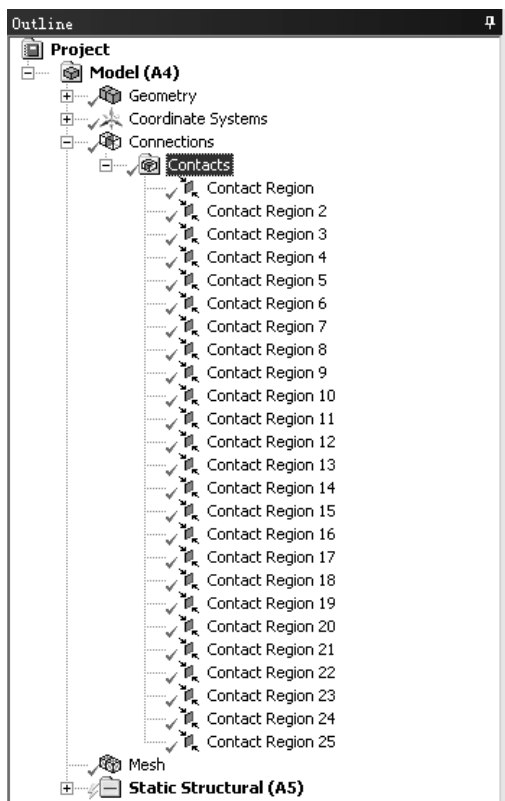


图 7.6.10 “Outline”窗口

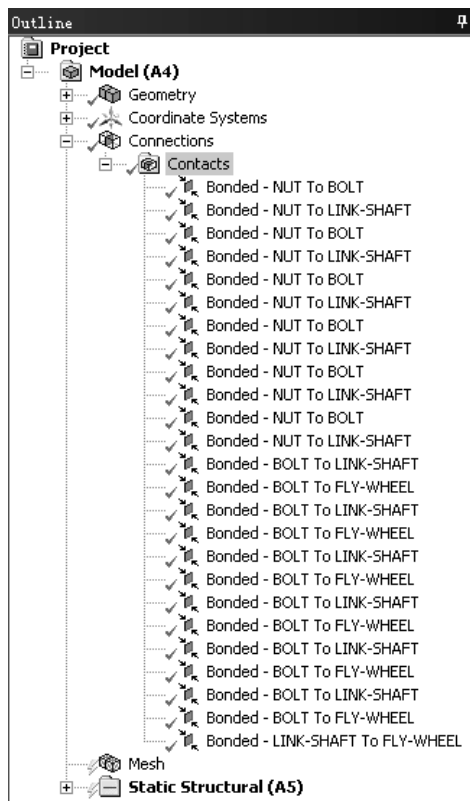


图 7.6.11 定义绑定接触


步骤 06 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。


步骤 07 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。


步骤 08 插入应力 1 (零件 link-shaft)。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress2’”窗口中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取几何体 (link-shaft) 为对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 09 插入应力 2 (零件 fly-wheel)。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress3’”窗口中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取几何体 (fly-wheel) 为对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 10 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击  按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress，查看图 7.6.12 所示的总应力结果，其最小应力为 3.4441e-003 MPa，其最大应力为 2413.8MPa。

(3) 查看位移结果图解。在“Outline”窗口中选中  Total Deformation，查看图 7.6.13 所示的位移变形结果，其最大位移为 2.4573mm。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/6 16:48

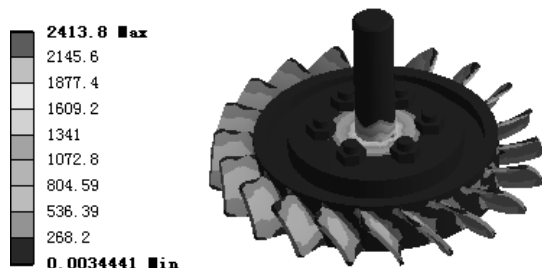


图 7.6.12 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/6 16:49

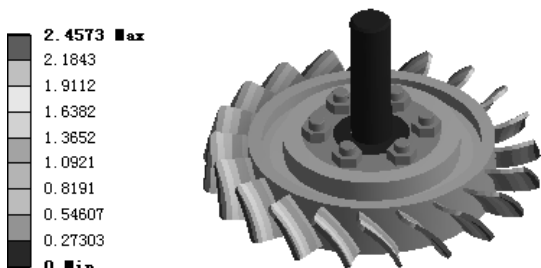




图 7.6.13 位移变形结果图解

(4) 查看 link-shaft 应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 2，查看图 7.6.14 所示的零件 shaft 的应力结果，其最小应力为 3.4441e-003 MPa，其最大应力为 2413.8MPa。

(5) 查看 fly-wheel 应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 3，查看图 7.6.15 所示的零件 fly_wheel 的应力结果，其最小应力为 15.455 MPa，其最大应力为 1498.3 MPa。

步骤 11 保存文件。选择  File  Save Project... 命令，保存文件。

A: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/6 16:51

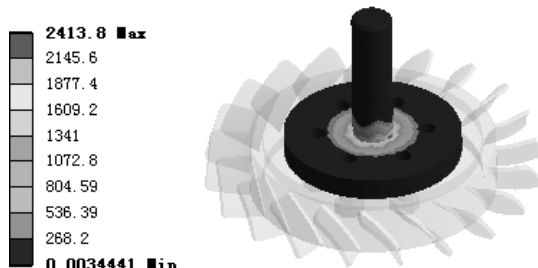


图 7.6.14 应力结果图解 (link-shaft)

A: Static Structural
Equivalent Stress 3
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/6 16:53

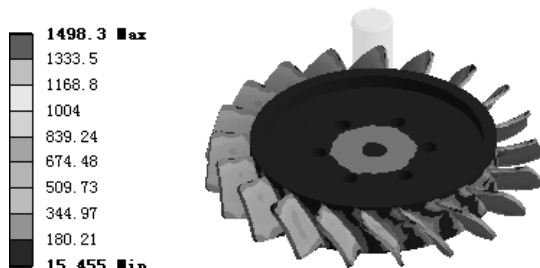


图 7.6.15 应力结果图解 (fly-wheel)

2. 定义不分离接触

不分离接触就是两个物体之间不能分开，但可以滑移。下面以图 7.6.16 所示的模型为例介绍定义不分离接触的一般操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch07.06\no-separation-contact.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，系统进入 “Mechanical” 环境中。

步骤 02 创建接触对。在 “Outline” 窗口中右击 **Connections** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Contact Region** 命令，弹出定义接触参数对话框。

步骤 03 创建接触对象。

(1) 定义接触面。在 **Scope** 区域中单击以激活 **Contact** 后的文本框，选取图 7.6.17 所示的模型表面（6 个面）为接触面，单击 **Apply** 按钮。

(2) 定义目标面。单击以激活 **Target** 后的文本框，选取图 7.6.18 所示的模型表面为目标面（6 个面），单击 **Apply** 按钮。

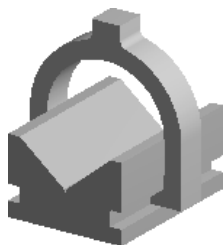


图 7.6.16 定义不分离接触

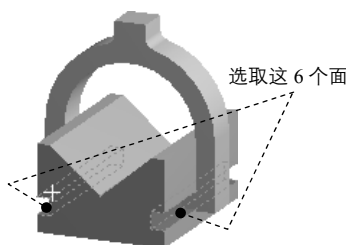


图 7.6.17 定义接触面

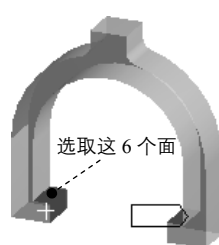


图 7.6.18 定义目标面

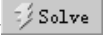
步骤 04 定义接触类型。在 **Definition** 区域中的 **Type** 下拉列表中选择 **No Separation** 选项，其他参数采用系统默认设置。


步骤 05 插入总应力。在 “Outline” 窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。


步骤 06 插入变形。在 “Outline” 窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 07 插入应力 1（零件 brack）。在 “Outline” 窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的 “Details of ‘Equivalent Stress2’” 对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取几何体（brack）为对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 08 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部的工具栏中单击  按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress，查看图 7.6.19 所示的总应力结果，其最小应力为 1.9297e-002 MPa，其最大应力为 41.753 MPa。

(3) 查看位移结果图解。在“Outline”窗口中选中  Total Deformation，查看图 7.6.20 所示的位移变形结果，其最大位移为 7.5061e-003 mm。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/6 17:26

41.753 Max
37.116
32.479
27.842
23.205
18.568
13.931
9.2935
4.8564
0.019297 Min



图 7.6.19 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/6 17:27

0.0075061 Max
0.0066721
0.0058381
0.0050041
0.0041701
0.0033361
0.002502
0.001668
0.00083402
0 Min

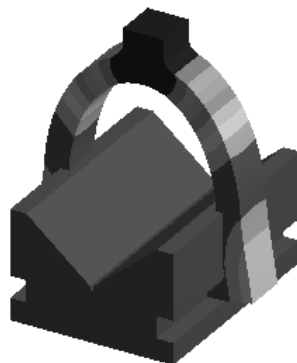



图 7.6.20 位移变形结果图解

(4) 查看 slider 应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 2，查看图 7.6.21 所示的零件 slider 的应力结果，其最小应力为 1.2345 MPa，其最大应力为 41.753 MPa。

步骤 09 保存文件。选择   命令，保存文件。

A: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/6 17:28

41.753 Max
37.251
32.749
28.247
23.745
19.243
14.741
10.239
5.7366
1.2345 Min



图 7.6.21 应力结果图解 (bracket)

3. 定义无摩擦接触

无摩擦接触就是两个物体之间可以有间隙，也可以滑移。下面以图 7.6.22 所示的模型为例介绍定义无摩擦接触的一般操作过程。

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch07.06\frictionless.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境中。

步骤02 创建接触对。在“Outline”窗口中右击 **Connections** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Contact Region** 命令，弹出定义接触参数对话框。

步骤03 创建接触对象。

(1) 定义接触面。在 **Scope** 区域中单击以激活 **Contact** 后的文本框，选取图 7.6.23 所示的模型表面为接触面，单击 **Apply** 按钮确认。

(2) 定义目标面。单击以激活 **Target** 后的文本框，选取图 7.6.24 所示的模型表面为目标面，单击 **Apply** 按钮确认。

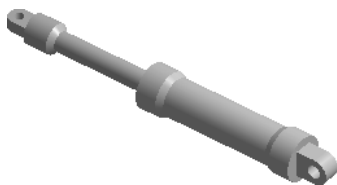


图 7.6.22 定义无摩擦接触

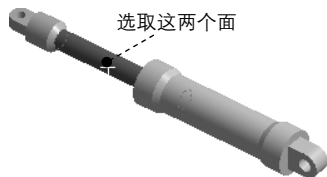


图 7.6.23 定义接触面

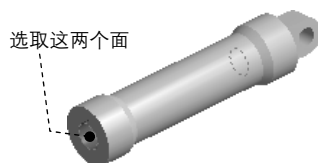


图 7.6.24 定义目标面

步骤04 定义接触类型。在 **Definition** 区域中的 **Type** 下拉列表中选择 **Frictionless** 选项，其他参数采用系统默认设置。

步骤05 添加固定约束 1。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框；选取图 7.6.25 所示的圆柱面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束 1 的添加，结果如图 7.6.25 所示。

步骤06 添加固定约束 2。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框；选取图 7.6.26 所示的端面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束 2 的添加，结果如图 7.6.26 所示。

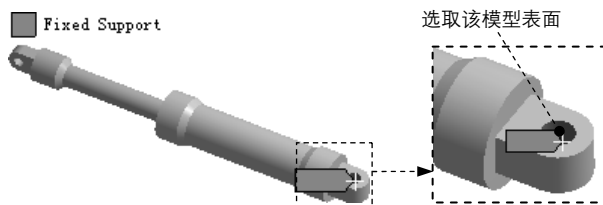


图 7.6.25 添加固定约束 1

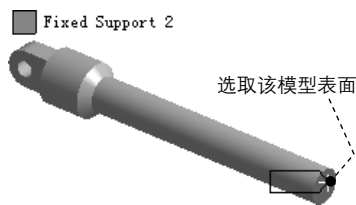




图 7.6.26 添加固定约束 2

步骤07 添加载荷力。在“Outline”窗口中右击  **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** →  **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”对话框；选取图 7.6.27 所示的圆柱面，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项，在 **X Component** 和 **Y Component** 文本框中输入数值 1000N，其他参数采用系统默认设置，完成载荷力的添加，结果如图 7.6.27 所示。

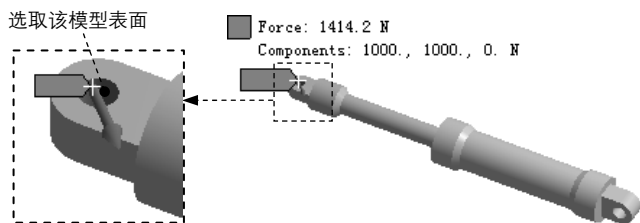









图 7.6.27 添加载荷力


步骤08 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** →  **Equivalent (von-Mises)** 命令。


步骤09 插入变形。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** →  **Total** 命令。


步骤10 插入应力1 (零件 frictionless)。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** →  **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress2’”对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取几何体 (frictionless) 为对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤11 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部的工具栏中单击  **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Equivalent Stress**，查看图 7.6.28 所示的总应力结果，其最小应力为 0.085093 MPa，其最大应力为 327.9 MPa。

(2) 查看位移结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Total Deformation**，查看图 7.6.29 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.25458 mm。

(3) 查看 frictionless 应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Equivalent Stress 2**，查看图 7.6.30 所示的零件 frictionless 的应力结果，其最小应力为 0.10104 MPa，其最大应力为 271.14 MPa。

步骤12 保存文件。选择 **File** →  **Save Project...** 命令，保存文件。

4. 定义粗糙接触

粗糙接触就是两个物体之间可以有间隙，但是不能滑移。下面以图 7.6.31 所示的模型为例

介绍定义粗糙接触的一般操作过程。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 9:35

327.9 Max
291.47
255.05
218.63
182.2
145.78
109.36
72.932
36.508
0.085093 Min



图 7.6.28 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/7 9:37

0.25458 Max
0.22629
0.19801
0.16972
0.14143
0.11315
0.08486
0.056573
0.028287
0 Min

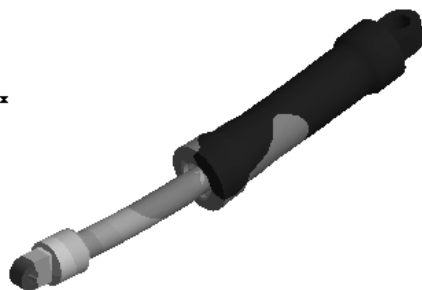


图 7.6.29 位移变形结果图解

A: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 9:38

271.14 Max
241.03
210.91
180.8
150.68
120.56
90.449
60.333
30.217
0.10104 Min



图 7.6.30 应力结果图解 (frictionless)

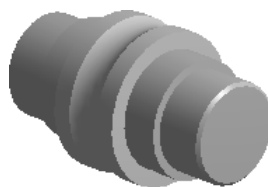


图 7.6.31 定义粗糙接触

步骤01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch07.06\rough-contact.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境中。

步骤02 创建接触对。在“Outline”窗口中右击 **Connections** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Contact Region** 命令，弹出定义接触参数对话框。

步骤03 创建接触对象。

(1) 定义接触面。在 **Scope** 区域中单击以激活 **Contact** 后的文本框，选取图 7.6.32 所示的圆柱面为接触面，单击 **Apply** 按钮。

(2) 定义目标面。单击以激活 **Target** 后的文本框，选取图 7.6.33 所示的模型表面为目标面 (两个面)，单击 **Apply** 按钮。

步骤04 定义接触类型。在 **Definition** 区域中的 **Type** 下拉列表中选择 **Rough** 选项。

步骤 05 定义接触参数。在 **Advanced** 区域中的 **Offset** 文本框中输入数值 0.125，其他参数采用系统默认设置。

步骤 06 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框；选取图 7.6.34 所示的模型表面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束的添加。

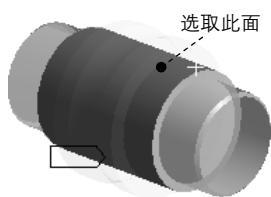


图 7.6.32 定义接触面

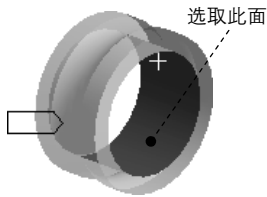


图 7.6.33 定义目标面

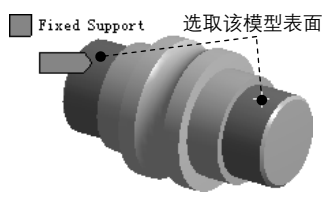


图 7.6.34 添加固定约束

步骤 07 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 08 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 09 插入 SHAFT 应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress2’”对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 7.6.35 所示的 SHAFT 对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 10 插入 RING 应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress3’”对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 7.6.35 所示的 RING 对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 11 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解，在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.6.36 所示的总应力结果，其最小应力为 3.8433 MPa，其最大应力为 778.59 MPa。

(3) 查看位移结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.6.37 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.11563mm。

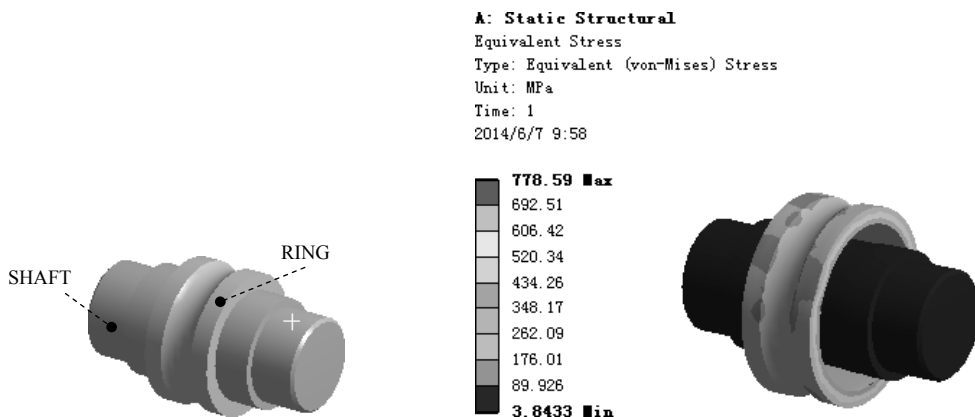


图 7.6.35 选取几何体

图 7.6.36 总应力结果图解

(4) 查看 SHAFT 应力图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress 2**，查看图 7.6.38 所示的几何体 1 的应力结果，其最小应力为 387.64 MPa，其最大应力为 778.59 MPa。

(5) 查看 RING 应力图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress 3**，查看图 7.6.39 所示的几何体 2 的应力结果，其最小应力为 3.8344MPa，其最大应力为 111.37 MPa。

步骤 12 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，保存文件。

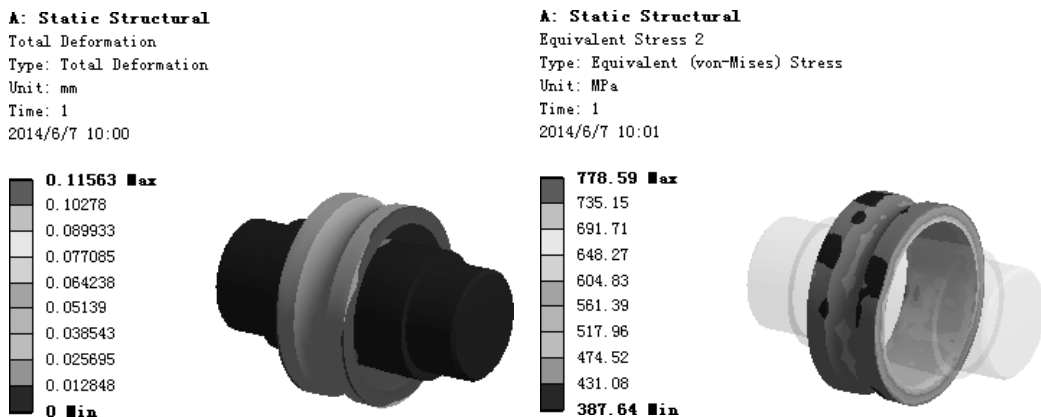


图 7.6.37 位移变形结果图解

图 7.6.38 应力结果图解 (几何体 1)

5. 定义有摩擦接触

有摩擦接触就是两个物体之间可以有间隙，也可以滑移。下面以图 7.6.40 所示的模型为例介绍定义有摩擦接触的一般操作过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令，打开文件“D:\ansc14.0\work\ch07.06\frictional-contact.wbpj”，在项目列表中双击 **Model** 选项，进入

“Mechanical”环境。

A: Static Structural
Equivalent Stress 3
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 10:02

111.37 Max
99.418
87.471
75.524
63.578
51.631
39.684
27.737
15.79
3.8433 Min



图 7.6.39 应力结果图解 (几何体 2)

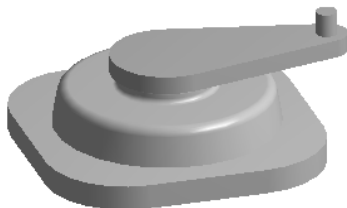


图 7.6.40 定义有摩擦接触

步骤 02 创建接触对。在“Outline”窗口中右击 **Connections** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** **Manual Contact Region** 命令，弹出定义接触参数对话框。

步骤 03 创建接触对象。

(1) 定义接触面。在 **Scope** 区域中单击以激活 **Contact** 后的文本框，选取图 7.6.41 所示的模型表面为接触面，单击 **Apply** 按钮。

(2) 定义目标面。单击以激活 **Target** 后的文本框，选取图 7.6.42 所示的模型表面为目标面 (两个面)，单击 **Apply** 按钮。

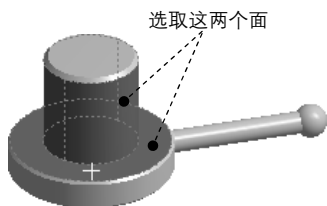


图 7.6.41 定义接触面

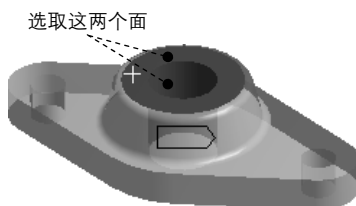


图 7.6.42 定义目标面

步骤 04 定义接触类型。在 **Definition** 区域中的 **Type** 下拉列表中选择 **Frictional** 选项。

步骤 05 定义摩擦参数。在 **Definition** 区域中的 **Friction Coefficient** 文本框中输入数值 0.2，其他参数采用系统默认设置。

步骤 06 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。选取图 7.6.43 所示的圆柱面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束的添加，结果如图 7.6.43 所示。

步骤 07 添加载荷力。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”对话框。选取图 7.6.44 所示的球面，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项，在 **X Component** 和 **Z Component** 文本框中输入数值 -50N，其他参数采用系统默认设置，完成载荷力的添加，结果如图 7.6.44 所示。

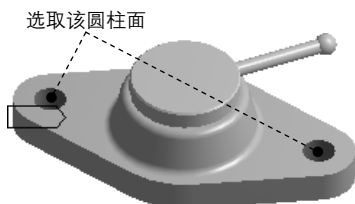


图 7.6.43 添加固定约束

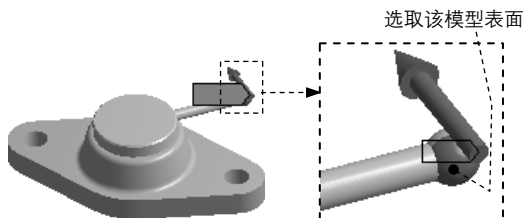


图 7.6.44 添加载荷力

步骤 08 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 09 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 10 插入应力 1 (零件 handle)。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress2’”对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取零件 handle 为对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 11 插入应力 2 (零件 base-down)。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，在弹出的“Details of ‘Equivalent Stress3’”对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取零件 base-down 为对象，单击 **Apply** 按钮。

步骤 12 求解查看应力及位移变形结果。


(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.6.45 所示的总应力结果，其最小应力为 0.051891MPa，其最大应力为 323.59 MPa。

(3) 查看位移结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.6.46 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.056984 mm。

(4) 查看 handle 应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress 2**，查看图 7.6.47

所示的零件 handle 的应力结果, 其最小应力为 0.051891 MPa, 其最大应力为 323.59 MPa。

(5) 查看 base-down 应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 3, 查看图 7.6.48 所示的零件 base-down 的应力结果, 其最小应力为 0.42481 MPa, 其最大应力为 78.328 MPa。

步骤 13 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令, 保存文件。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 10:37

323.59 Max
287.64
251.69
215.75
179.8
143.85
107.9
71.95
36.001
0.051891 Min



图 7.6.45 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/7 10:35

0.056984 Max
0.050652
0.044321
0.037989
0.031658
0.025326
0.018995
0.012663
0.0063315
0 Min



图 7.6.46 位移变形结果图解

A: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 10:38

323.59 Max
287.64
251.69
215.75
179.8
143.85
107.9
71.95
36.001
0.051891 Min

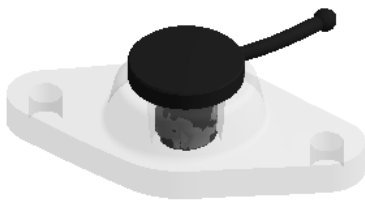


图 7.6.47 应力结果图解 (handle)

A: Static Structural
Equivalent Stress 3
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 10:40


78.328 Max
69.672
61.016
52.36
43.704
35.049
26.393
17.737
9.0807
0.42481 Min



图 7.6.48 应力结果图解 (base-down)

7.6.3 壳接触分析

对于壳结构的装配体, 其接触分析与一般实体模型的接触分析是有所不同的。下面以图 7.6.49 所示的壳体零件模型为例, 介绍壳接触的定义与分析的一般过程。

步骤 01 打开文件并进入界面。选择 **File** → **Open...** 命令, 打开文件 “D:\ansc14.0\work\ch07.06\shell-contact-analysis.wbpj”, 在项目列表中双击  Model 选项, 进入 “Mechanical” 环境。

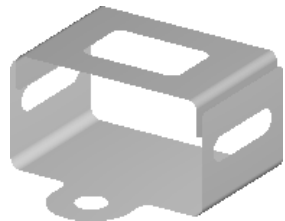


图 7.6.49 壳结构模型

步骤 02 对于从外部格式文件导入的壳体，需要定义壳体厚度值。在“Outline”窗口中的 **Geometry** 节点下单击 **Surface Body**，弹出“Details of ‘Part1’”对话框，在对话框的 **Thickness** 文本框中输入壳厚度值 3.0mm，其他选项采用系统默认设置。



“Details of ‘Part1’”对话框中的 **Offset Type** 下拉列表用于控制壳体厚度方向，包括 **Top**、**Middle**、**Bottom** 和 **User Defined** 四个选项，默认的是 **Middle** 选项，表示中间加厚，**Top** 和 **Bottom** 表示壳体的“顶”与“底”，也就是壳体的“正面”与“反面”，选中这两个选项，系统仅沿壳体某一侧进行加厚。选择 **User Defined** 选项，用户可以自定义加厚的偏移尺寸。

步骤 03 定义其余壳体厚度。参照步骤 2，定义 **Surface Body** 的厚度值为 3.0mm。

步骤 04 划分壳体网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在“Details of ‘Mesh’”对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，其他参数采用系统默认设置，单击 **Update** 按钮，网格划分结果如图 7.6.50 所示。



对于壳体，系统在划分网格时会考虑壳体厚度效应，如果在步骤 2 中定义厚度方向不匹配，网格划分完成后会出现图 7.6.51 所示的结果，所以，在进行壳体网格划分的过程中，要根据实际情况，充分考虑壳体厚度方向的问题。

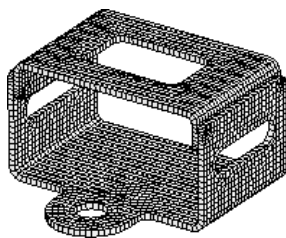


图 7.6.50 划分网格

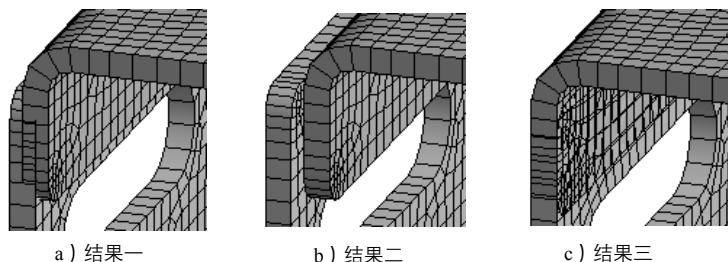


图 7.6.51 壳体厚度方向与网格划分之间的关系

步骤 05 定义壳体接触（一）（图 7.6.52）。

（1）选择命令。在“Outline”窗口中选中 **Connections** 并右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Contact Region** 命令，弹出定义接触参数对话框。

（2）定义接触面。选取图 7.6.53 所示的面为接触面参考，单击 **Contact** 文本框后的 **Apply** 按钮，然后在定义接触参数对话框中的 **Contact Shell Face** 下拉列表中选择 **Top** 选项，完成接触面定义。

(3) 定义目标面。选取图 7.6.54 所示的面为目标面参考，单击 **Target** 文本框后的 **Apply** 按钮，然后在定义接触参数对话框中的 **Target Shell Face** 下拉列表中选择 **Top** 选项，完成目标面定义。

Bonded - Surface Body To Surface Body
2014/6/7 11:18

Bonded - Surface Body To Surface Body

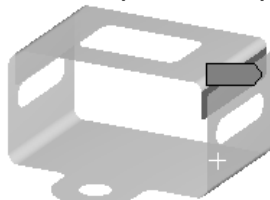


图 7.6.52 定义壳体接触（一）

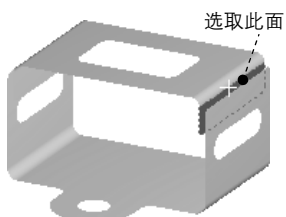


图 7.6.53 选取接触面参考

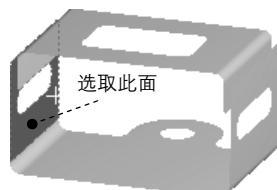


图 7.6.54 定义目标面

(4) 定义接触类型。在定义接触参数对话框中的 **Type** 下拉列表中选择 **Bonded** 选项。

步骤 06 定义壳体接触（二）。参照步骤 5，定义另外一处壳体接触，结果如图 7.6.55 所示。

步骤 07 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。选取图 7.6.56 所示的模型表面为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮。完成固定约束的添加。

步骤 08 添加载荷力。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”窗口。选取图 7.6.57 所示的模型表面，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Vector** 选项，在 **Magnitude** 文本框中输入数值 120N，调整其方向如图 7.6.57 所示，单击 **Apply** 按钮。完成载荷力的添加，结果如图 7.6.57 所示。

Bonded - Surface Body To Surface Body
2014/6/7 11:29

Bonded - Surface Body To Surface Body

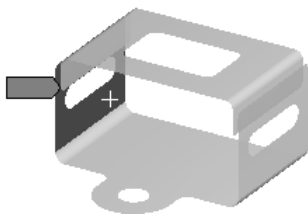


图 7.6.55 定义壳体接触（二）

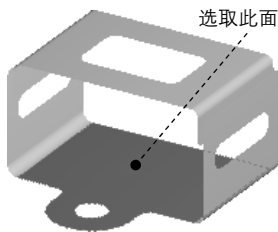


图 7.6.56 定义施加对象

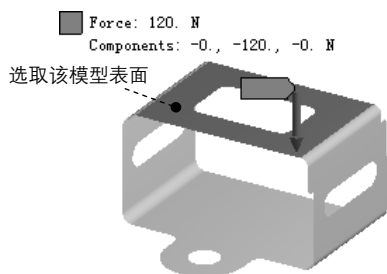


图 7.6.57 添加载荷力

步骤 09 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷

菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 10 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 11 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解，在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.6.58 所示的总应力结果，其最小应力为 0MPa，其最大应力为 14.239 MPa。

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.6.59 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.023545 mm。

步骤 12 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，保存文件。

7.6.4 网络连接

网络连接允许生成拓扑上不连接面体间网格，使网格之间具有更好的兼容性，更好地保证了网格划分的精度及最终求解精度，类似于 CAD 中的修补间隙操作，网络连接可以在边与边之间或边与面之间进行连接。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom - Layer 0
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 11:39

14.239 Max
12.657
11.075
9.4925
7.9104
6.3284
4.7463
3.1642
1.5821
0 Min

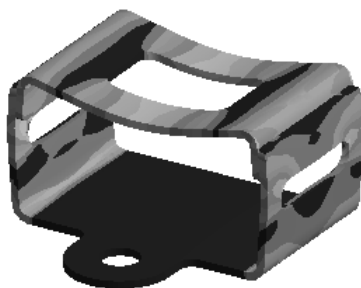


图 7.6.58 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/7 11:40

0.023545 Max
0.020929
0.018313
0.015697
0.01308
0.010464
0.0078483
0.0052322
0.0026161
0 Min

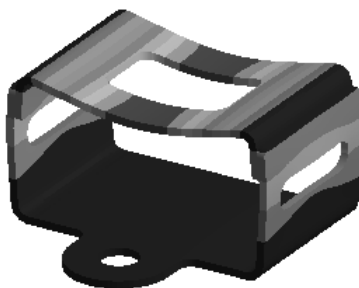


图 7.6.59 位移变形结果图解

下面以图 7.6.60 所示的实例介绍网络连接的基本操作。

步骤 01 打开文件“D:\ansc14.0\work\ch07.06\mesh-connection-analysis.wbpj”。

步骤 02 划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh**，在弹出的快捷菜单中选择 **Generate Mesh** 命令，系统自动划分网格，结果如图 7.6.61 所示。



说明

该实例几何中包括面体 1 和面体 2 两个对象（图 7.6.60），拓扑上不连接，所以完成网格划分后，在彼此连接处的网格是不兼容的，如图 7.6.61 所示。

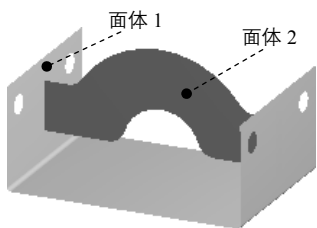


图 7.6.60 网格连接

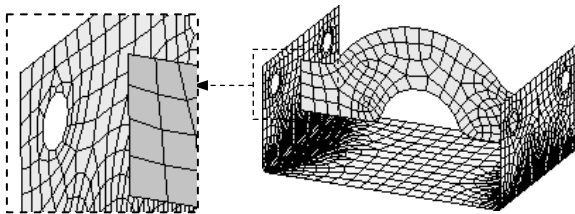


图 7.6.61 划分网格

步骤 03 定义网格连接。

(1) 选择命令。在“Outline”窗口中选中 **Connections** 并右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Mesh Connection** 命令，弹出图 7.6.62 所示的“Details of ‘Mesh Connection’”对话框。

(2) 选择 Master 几何对象。选择图 7.6.63 所示的两个面为 Master 对象，单击 **Master Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。

(3) 选择 Slave 几何对象。选择图 7.6.63 所示的两条边为 Slave 对象，单击 **Slave Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。

图 7.6.62 所示的“Details of ‘Mesh Connection’”对话框中部分选项说明如下。

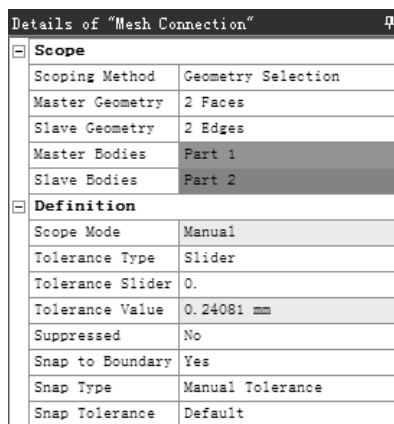


图 7.6.62 “Details of ‘Mesh Connection’” 对话框

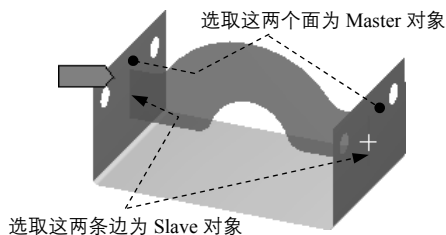


图 7.6.63 选取连接对象

Master Geometry 文本框：用于定义主投影几何对象。

◆ **Slave Geometry** 文本框：用于定义投影几何对象，投影几何对象将投影到主投影几何上，从而实现两者的拓扑连接。

◆ **Tolerance Type** 下拉列表：用于设置系统探测主投影几何与投影几何之间的连接间隙类

型。有以下三种类型可供选择。

- **Slider** 选项：选中该选项，可在对话框的 **Tolerance Slider** 文本框中拖动滑块调整探测间隙值。
 - **Value** 选项：选中该选项，可在对话框的 **Tolerance Value** 文本框中输入探测值。
 - **Use Sheet Thickness** 选项：可在对话框的 **Thickness Scale Factor** 文本框中输入厚度因子作为探测值。
- ◆ **Snap to Boundary** 下拉列表：用于定义投影几何是否捕捉到网格边界上，选中 **Yes** 选项，投影几何将连接到边界上（图 7.6.64）；选中 **No** 选项，投影几何将不连接到边界上（图 7.6.65）。

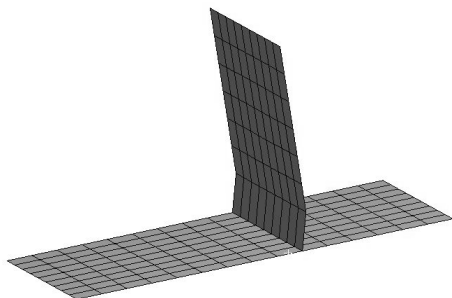


图 7.6.64 连接到边界

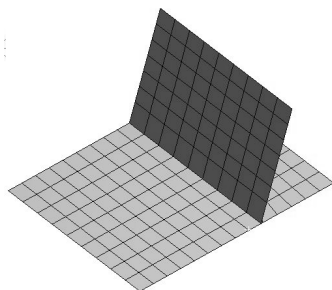

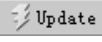


图 7.6.65 不连接到边界

- ◆ **Snap Type** 下拉列表：用于定义捕捉边界类型，包括以下两种类型。
- **Manual Tolerance** 选项：选中该选项，手动输入公差来进行捕捉，在对话框的 **Snap Tolerance** 文本框中输入公差值。
 - **Element Size Factor** 选项：选中该选项，输入单元尺寸因子来进行捕捉，在对话框的 **Master Element Size Factor** 文本框中输入单元尺寸因子。

步骤 04 更新网格。在“Outline”窗口中选中  **Mesh** 节点，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框；在对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，单击  按钮，划分网格，结果如图 7.6.66 所示。



完成网格连接后，面体之间形成拓扑连接，更新网格划分后，彼此连接处的网格是兼容的，如图 7.6.66 所示。

步骤 05 保存文件。选择 **File**  **Save Project...** 命令，保存文件。

7.7 结构分析实际综合应用——滑动拨叉结构分析

应用概述:

本应用介绍了图 7.7.1 所示滑动拨叉零件结构分析, 滑动拨叉零件中间圆孔能够绕着轴转动, 图中面 1 被完全固定, 在面 2 上受到一个与该面垂直, 方向向下的载荷力作用, 已知力大小为 1000N, 分析其应力、位移变形情况, 假设零件工作时能够承受的最大应力为 300MPa, 校核零件强度。下面具体介绍其分析过程。

步骤 01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中, 双击 Toolbox 工具箱中的 Analysis Systems 区域中的 Static Structural, 新建一个“Static Structural”项目列表。

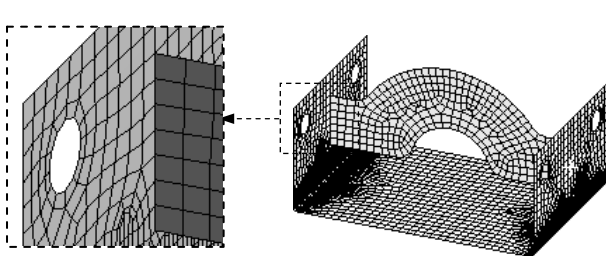


图 7.6.66 更新网格划分

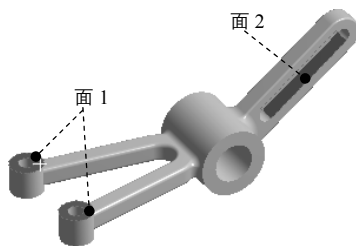


图 7.7.1 滑动拨叉零件结构分析

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 Geometry 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 Import Geometry → Browse... 命令, 弹出“打开”对话框。选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.07\bracket-part.stp”并打开。在“Static Structural”项目列表中双击 Geometry 选项, 在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 Millimeter 选项, 单击 OK 按钮, 单击 Generate 按钮, 完成几何体导入。

步骤 03 创建图 7.7.2 所示的 Plane4 (注: 本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.07\reference\文件下的语音视频讲解文件“bracket_analysis-r01.exe”)。

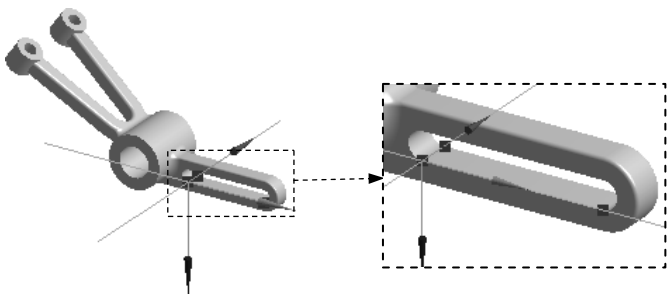





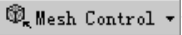




图 7.7.2 创建 Plane4

步骤 04 编辑几何属性。返回 ANSYS Workbench 主界面, 在“Static Structural”项目列表中

右击  选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Properties** 命令，弹出“Properties of Schematic A3: Geometry”对话框，在对话框中选中 **Import Coordinate Systems** 后的 ☒ 复选框。

步骤 05 采用系统默认的材料，在“Static Structural”项目列表中双击  选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 06 初步划分网格。在“Outline”窗口中单击  **Mesh** 节点，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框。在 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，在 **Element Size** 文本框中输入数值 1.0mm。单击  **Update** 按钮，完成初步的网格划分，结果如图 7.7.3 所示。

步骤 07 定义局部网格控制。在  **Mesh Control** 下拉菜单中选择  **Method** 命令，弹出“Details of ‘Automatic Method’—Method”对话框。选取整个模型对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击  **Apply** 按钮确认；在 **Definition** 区域的 **Method** 下拉列表中选择 **Hex Dominant** 选项，其他选项采用系统默认设置；单击  **Update** 按钮，更新网格，单击  **Mesh**，网格划分结果如图 7.7.4 所示。

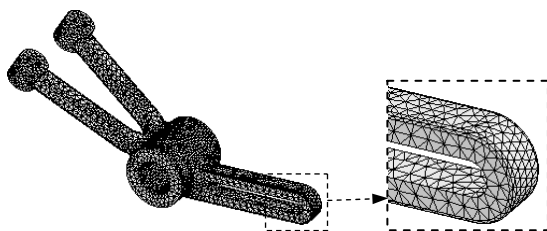


图 7.7.3 初步网格划分

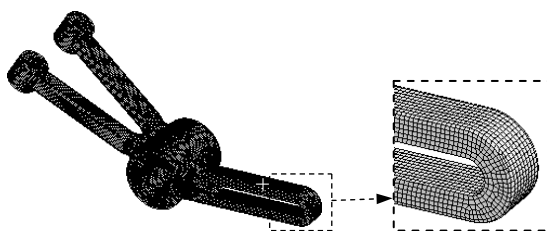










图 7.7.4 局部网格控制结果

步骤 08 添加圆柱约束。在“Outline”窗口中右击  **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Cylindrical Support** 命令，弹出“Details of ‘Cylindrical Support’”对话框。选取图 7.7.5 所示的圆柱面为约束对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击  **Apply** 按钮；在 **Definition** 区域的 **Radial** 下拉列表中选择 **Fixed** 选项，在 **Axial** 下拉列表中选择 **Fixed** 选项，在 **Tangential** 下拉列表中选择 **Free** 选项，结果如图 7.7.5 所示。

步骤 09 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击  **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。选取图 7.7.6 所示的模型表面为约束对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击  **Apply** 按钮。完成固定约束的添加，结果如图 7.7.6 所示。

步骤 10 添加力载荷。在“Outline”窗口中右击  **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”对话框。选取图 7.7.7 所示

的模型表面,在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮,在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项,在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Planes** 选项,在 **Z Component** 文本框中输入数值 1000,其他参数采用系统默认设置。

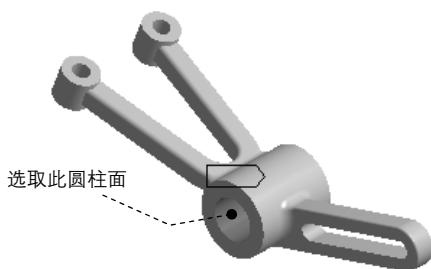


图 7.7.5 添加圆柱约束

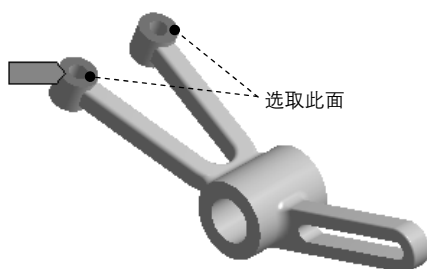


图 7.7.6 添加固定约束

步骤 11 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项,在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 12 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项,在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 13 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**,查看图 7.7.8 所示的应力结果,其最小应力为 0.025641MPa,其最大应力为 236.94MPa。因为最大应力小于之前假设的最大应力值,所以零件强度在该工况下能安全工作。

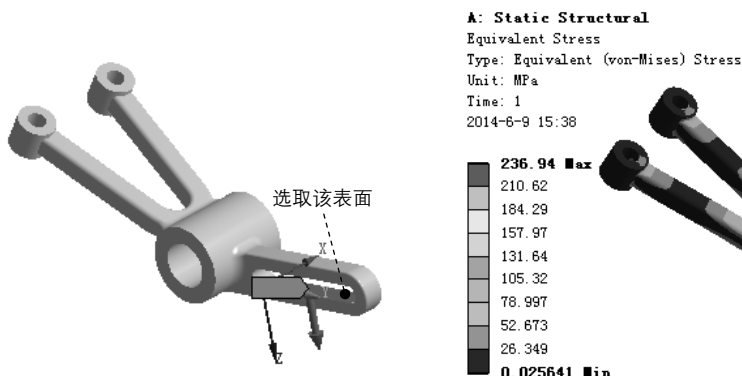


图 7.7.7 添加力载荷

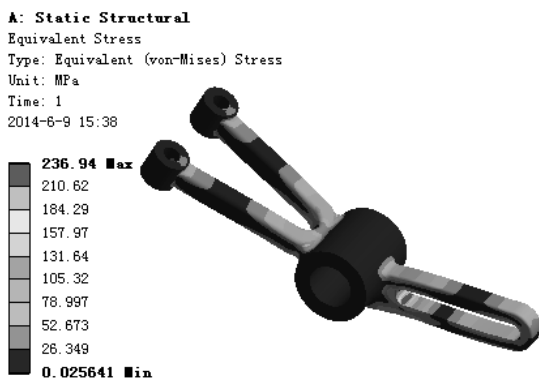


图 7.7.8 应力结果图解

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**,查看图 7.7.9 所示的位移变形结果,其最大位移为 0.35837mm。

步骤 14 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令,在弹出的“另存为”对话框中

的 **文件名(N):** 文本框中输入 bracket-analysis, 单击 **保存(S)** 按钮。

7.8 结构分析实际综合应用二——厂房三角钢架结构分析

应用概述:

本应用介绍了图 7.8.1 所示的厂房三角钢架梁结构分析, 梁结构在实际生活中非常常见, 如厂房、车间、桥梁、大型机械设备上都很常见, 对其进行结构分析往往很有必要, 图 7.8.1 所示的厂房三角钢架梁, 两端的两个顶点完全固定, 在横梁上部两斜梁分别承受一个与斜梁垂直的载荷力作用, 大小为 3000N。根据前面章节介绍的梁结构分析流程, 首先需要创建梁结构的概念模型(图 7.8.2), 然后对其进行结构分析, 下面具体介绍其分析过程。

1. 概念建模

步骤 01 新建一个“Geometry”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中双击 **Toolbox** 工具箱中 **Component Systems** 区域中的 **Geometry** 选项, 即创建一个“Geometry”项目列表。

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014-6-9 15:38

0.35837 Max
0.31855
0.27873
0.23891
0.19909
0.15927
0.11946
0.079637
0.039819
0 Min

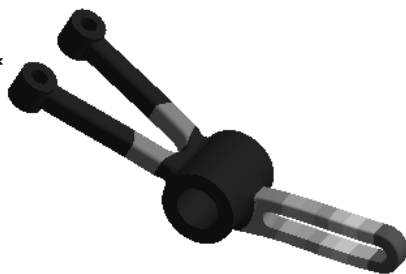


图 7.7.9 位移变形结果图解

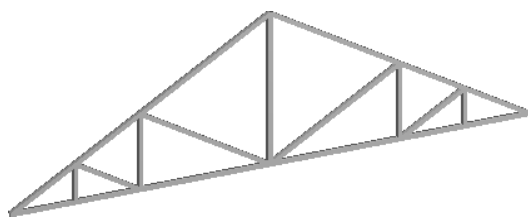


图 7.8.1 厂房三角钢架梁结构分析

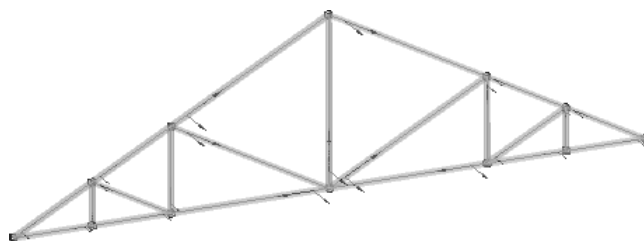



图 7.8.2 厂房三角钢架概念模型

步骤 02 新建几何体。在“Geometry”项目列表中右击 **Geometry ?** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **New Geometry...** 命令, 在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter** 选

项,单击 **OK** 按钮,进入 DM 建模环境。

步骤 03 创建草图 1。在“草图绘制”工具栏中的 **XYPlane** 下拉列表中选择 **XYPlane** 平面为草图平面,单击工具栏中的“New Sketch”按钮 , 绘制图 7.8.3 所示的草图 1, 然后修改尺寸标注, 其中 $H1=6000$, $V2=400$ 。

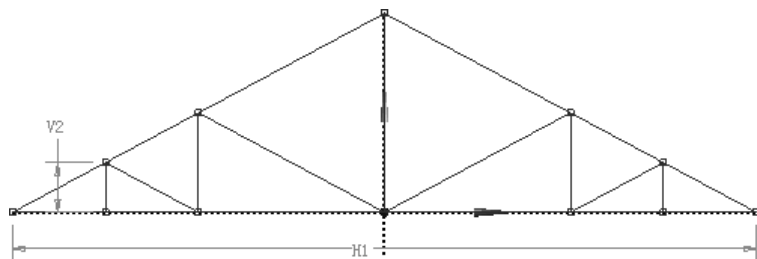



图 7.8.3 创建草图 1

步骤 04 创建图 7.8.4 所示的线体。选择 **Concept**  **Lines From Sketches** 命令; 选取草图 Sketch1, 单击 **Base Objects** 文本框中的 **Apply** 按钮。单击 **Generate** 按钮, 完成线体的创建。

步骤 05 创建图 7.8.5 所示的横截面 (注: 本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.08\reference\文件下的语音视频讲解文件“triangle-frame-analysis-r01.exe”)。

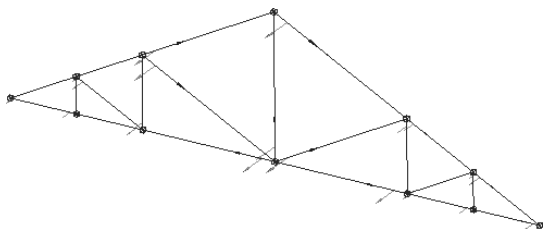


图 7.8.4 创建线体

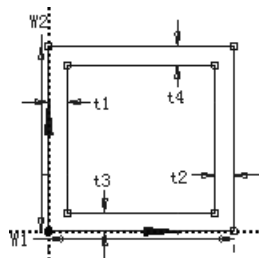




图 7.8.5 定义横截面

步骤 06 将横截面属性赋给线体。在“Outline”窗口中选中  **1 Part, 1 Body** 节点下的  **Line Body** 节点, 弹出“Details View”对话框; 在 **Cross Section** 下拉列表中选择 **CircularTube1** 选项; 单击 **Generate** 按钮, 结果如图 7.8.6 所示。

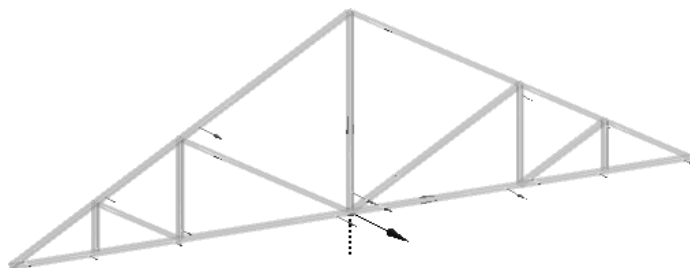


图 7.8.6 将横截面赋给线体

2. 梁结构分析

步骤 01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中，在 **Toolbox** 工具箱中的 **Analysis Systems** 区域选中 **Static Structural**，将其拖动到项目视图区，此时在项目视图区中的“Geometry”项目列表周围出现四个绿色矩形虚线框，将鼠标指针移动到“Geometry”项目列表中的 **Geometry** 上，此时右侧虚线框变成红色实线框，释放鼠标，系统在“Geometry”项目列表右侧创建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 采用系统默认的材料，在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项，进入“Mechanical”环境。

步骤 03 划分网格。在“Outline”窗口中单击 **Mesh**，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框，在对话框的 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项；在 **Element Size** 文本框中输入数值 100mm；单击“Mesh”工具栏中的 **Update** 按钮，完成网格划分，结果如图 7.8.7 所示。

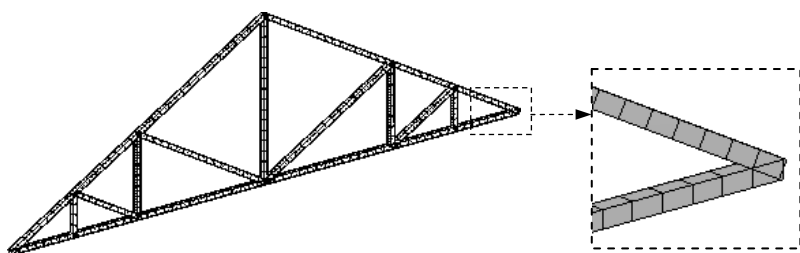


图 7.8.7 划分网格

步骤 04 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。选取图 7.8.8 所示的两个点为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮；完成固定约束的添加，结果如图 7.8.8 所示。

步骤 05 创建图 7.8.9 所示的坐标系 1。在“Outline”窗口中右击 **Coordinate Systems** 节点，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Coordinate System** 命令，弹出“Details of ‘Coordinate Systems’”对话框；在 **Origin** 区域中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取图 7.8.9 所示的模型边线为参考对象，单击 **Apply** 按钮；在 **Principal Axis** 区域中的 **Axis** 下拉列表中选择 **X** 选项，在 **Define By** 下拉列表中选择 **Geometry Selection** 选项，然后选取图 7.8.9 所示的模型边线为参考对象，其他参数采用系统默认设置，完成坐标系 1 的创建。

步骤 06 创建图 7.8.10 所示的坐标系 2。参照上一步，选取图 7.9.10 所示的模型边线为参考

对象, 在 **Principal Axis** 区域中的 **Axis** 下拉列表中选择 **X** 选项, 在 **Define By** 下拉列表中选择 **Geometry Selection** 选项, 然后选取图 7.8.10 所示的模型边线为参考对象, 其他参数采用系统默认设置, 完成坐标系 2 的创建。

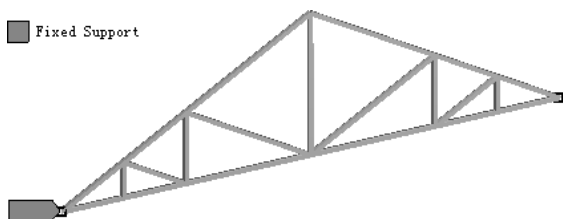


图 7.8.8 添加固定约束

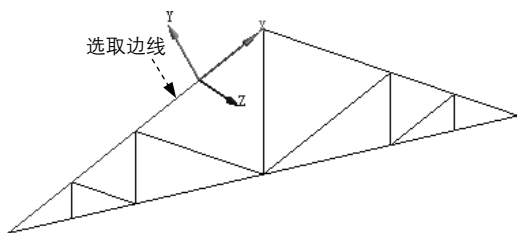


图 7.8.9 创建坐标系 1

步骤 07 添加力载荷 1。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令, 弹出“Detail of ‘Force’”对话框。选取图 7.8.11 所示的 3 条边线, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项, 在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System** 选项, 在 **Y Component** 文本框中输入数值 -3000N, 其他参数采用系统默认设置。完成载荷力的添加, 结果如图 7.8.11 所示。

步骤 08 添加力载荷 2。参照上一步, 选取图 7.8.12 所示的 3 条边线, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项, 在 **Coordinate System** 下拉列表中选择 **Coordinate System 2** 选项, 在 **Y Component** 文本框中输入数值 -3000N, 其他参数采用系统默认设置。完成载荷力的添加, 结果如图 7.8.12 所示。

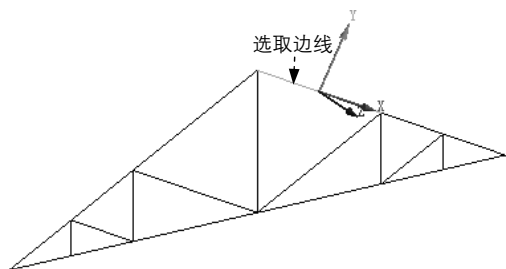


图 7.8.10 创建坐标系 2

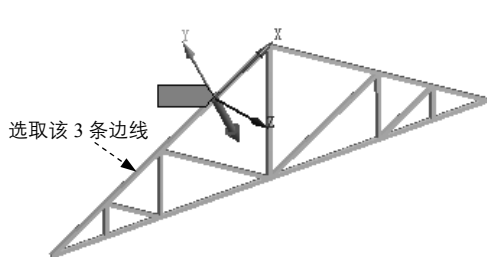




图 7.8.11 添加力载荷 1

步骤 09 添加重力加速度。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Standard Earth Gravity** 命令, 弹出“Detail of ‘Standard Earth Gravity’”对话框; 在 **Direction** 下拉列表中选择 **-Y Direction** 选项, 完成重力加速度的添加, 结果如图 7.8.13 所示。

步骤 10 插入梁工具。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Beam Tool** →  **Beam Tool** 命令。

步骤 11 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** →  **Total** 命令。

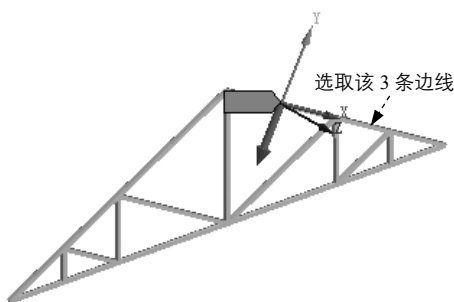


图 7.8.12 添加载荷 2

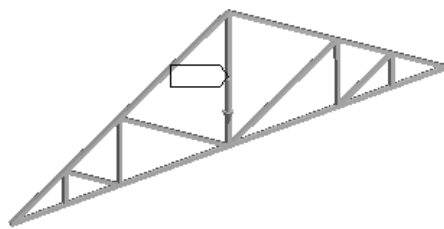




图 7.8.13 添加重力加速度

步骤 12 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击  **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Total Deformation**，查看图 7.8.14 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.58444 mm。

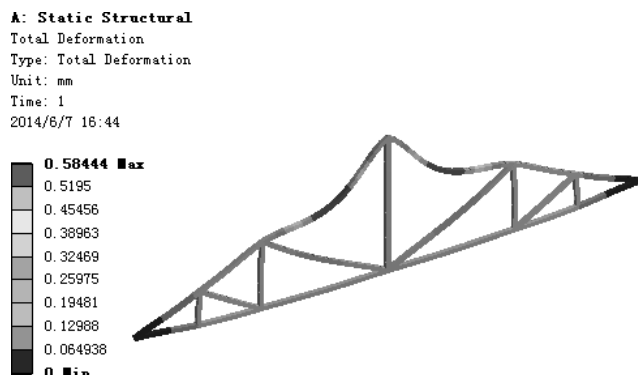







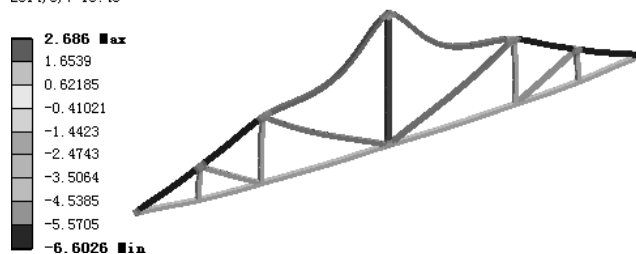
图 7.8.14 位移变形结果图解

(2) 查看梁结果图解。在“Outline”窗口中分别选中  **Beam Tool** 节点下的  **Direct Stress**、 **Minimum Combined Stress** 和  **Maximum Combined Stress**，分别查看横梁的主应力结果图解、最小组合应力和最大组合应力，结果如图 7.8.15 所示。

步骤 13 保存文件。选择 **File** →  **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 triangle-frame-analysis，单击 **保存(S)** 按钮。

A: Static Structural

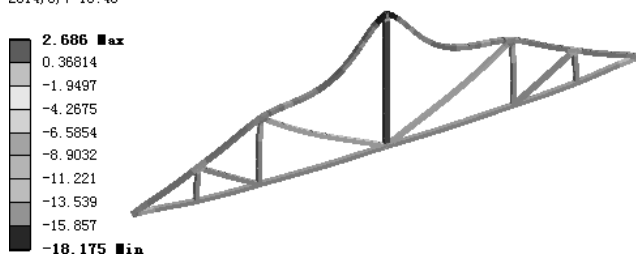
Direct Stress
Type: Direct Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 16:45



a) Direct Stress

A: Static Structural

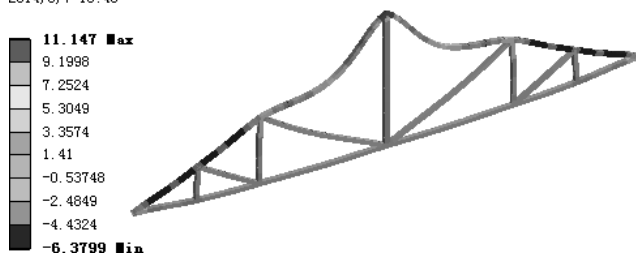
Minimum Combined Stress
Type: Minimum Combined Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 16:46



b) Minimum Combined Stress

A: Static Structural

Maximum Combined Stress
Type: Maximum Combined Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/7 16:46



c) Maximum Combined Stress

图 7.8.15 查看梁结果图解

7.9 结构分析实际综合应用三——ABS 控制器钣金支架结构分析

应用概述:

本应用介绍了图 7.9.1 所示的 ABS 控制器钣金支架结构分析, 钣金件是典型的薄壁结构零件, 非

常适合用薄壳结构分析方法进行分析,即首先创建模型中面(图 7.9.2),然后对中面模型进行结构分析。钣金件两端小孔(一共 4 个)完全固定,钣金件上部和前面的孔分别受到轴线方向向下的均布力载荷,大小分别为 50N 和 80N,分析钣金件在该工况下的应力、变形情况。另外,在处理像这类结构比较复杂的薄壁零件中面时,或从其他 CAD 软件中导入几何文件时,经常会出现一些面丢失的问题(在对本例进行中面处理时,一些小的部位就出现了面丢失的问题),需要手动进行修补,下面具体介绍其分析过程。

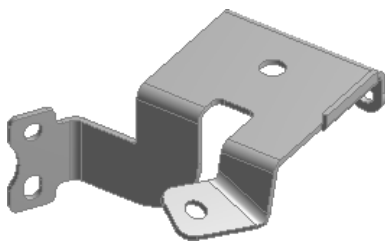


图 7.9.1 ABS 控制器钣金支架

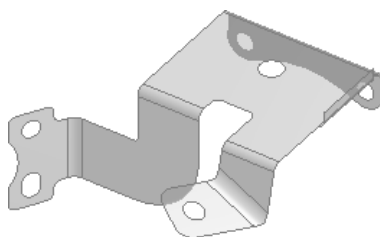


图 7.9.2 中面模型

步骤 01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中,双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**, 新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤 02 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 选项,在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令,弹出“打开”对话框;选择文件“D:\ansys14.0\work\ch07.09\sheet-bracket-analysis.stp”并打开。在“Static Structural”项目列表中双击 **Geometry** 选项,在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中选中 **Millimeter**,单击 **OK** 按钮,单击 **Generate** 按钮,完成几何体的导入。

步骤 03 创建图 7.9.2 所示的中面(注:本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.09\reference\文件下的语音视频讲解文件“sheet-bracket-analysis-r01.exe”)。

步骤 04 返回 ANSYS Workbench 主界面,采用系统默认的材料,在“Geometry”项目列表中双击 **Model** 选项,进入“Mechanical”环境。

步骤 05 划分网格。在“Outline”窗口中单击 **Mesh** 选项,弹出“Details of ‘Mesh’”对话框。在对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100,在 **Sizing** 区域的 **Use Advanced Size Function** 下拉列表中选择 **On: Curvature** 选项,在 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项,其他选项采用系统默认设置。单击 **Update** 按钮,完成网格划分,结果如图 7.9.3 所示。

步骤 06 添加固定约束(注:本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.09\reference\文件下的语音视频讲解文件“sheet-bracket-analysis-r02.exe”)。

步骤 07 添加载荷力 1。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项,在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令,弹出“Details of ‘Force’”对话框;选取图 7.9.4

所示的模型孔边线，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认，在 **Magnitude** 文本框中输入数值 50，调整载荷方向如图 7.9.4 所示。

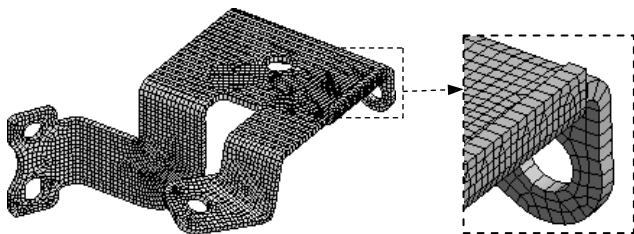


图 7.9.3 网格划分结果

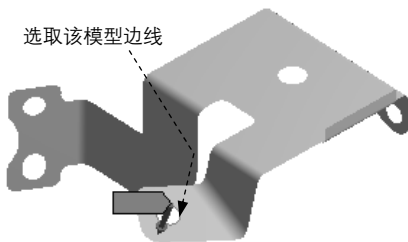


图 7.9.4 添加载荷力 1

步骤 08 添加载荷力 2。参照上一步，选取图 7.9.5 所示的模型孔边线，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认，在 **Magnitude** 文本框中输入数值 80，调整载荷方向如图 7.9.5 所示。

步骤 09 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 10 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 11 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.9.6 所示的应力结果，其最小应力为 0.059281MPa，其最大应力为 120.03MPa。

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.9.7 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.91779 mm。

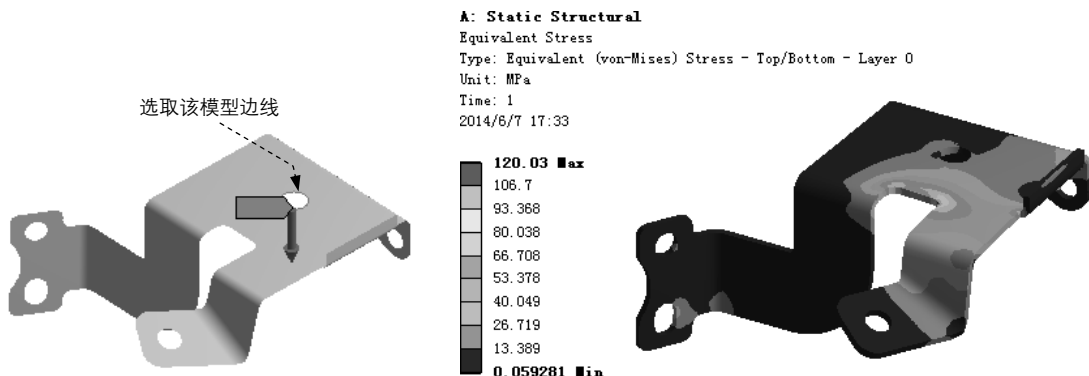


图 7.9.5 添加载荷力 2

图 7.9.6 查看应力结果图解

步骤 12 保存文件。选择 **File** → **Save Project...** 命令，在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 sheet-bracket-analysis，单击 **保存(S)** 按钮。

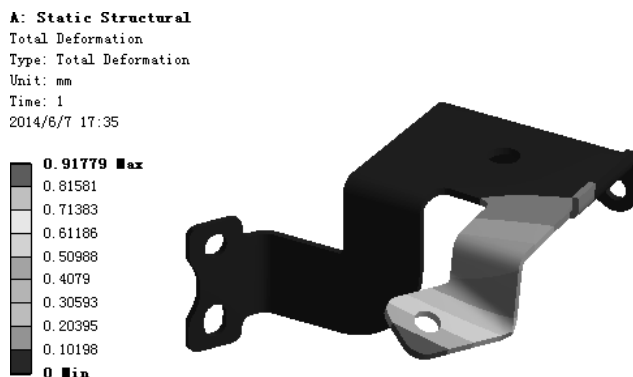


图 7.9.7 位移变形结果图解

7.10 结构分析实际综合应用四——锥形胀套传动器结构分析

应用概述:

本应用介绍了图 7.10.1 所示锥形胀套组件结构分析, 锥形胀套连接具有结构简单、对中性好和传力平稳的特点, 应用广泛。通过胀套的挤压作用, 在配合锥面产生弹性变形而产生接触压力, 工作时借此压力产生摩擦力来传递转矩。过盈量越大, 接触压力越大, 传递能力就越强, 但过大的过盈量会造成胀套产生永久性的塑性变形, 不仅难以拆卸, 也会使胀套破损而失去传递性能。因此, 在具体设计时必须考虑壁厚对整个接触效果的影响。反过来, 需要针对不同额定转矩和材料许用接触应力的要求, 去考虑最佳的接触长度 (决定接触面积) 和接触应力 (决定接触压力)。

图 7.10.1 所示的锥形胀套连接结构主要由内套 (shaft_bush)、外套 (bush_asm) 和传动轴 (shaft) 组成 (图 7.10.2) (其他结构进行了简化), 通过端面螺栓的作用将内套均匀地压入外套的内表面中, 这样由主传动轴将转矩传递给外套, 外套通过接触对和端面螺栓连接的双重作用将转矩传递给内套, 内套通过接触对将转矩传递给传动轴。

在该结构的分析中, 主要考虑外套内锥和内套外锥之间的过盈配合及内套和传动轴之间的过盈配合, 结构中除了轴的材料是 “Gray Cast Iron” 外, 其他结构材料均为系统默认的结构钢, 下面具体介绍其分析过程。

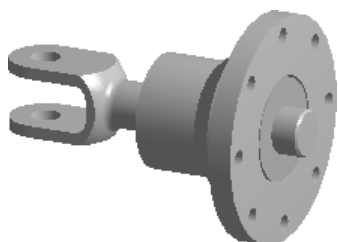


图 7.10.1 锥形胀套组件结构分析

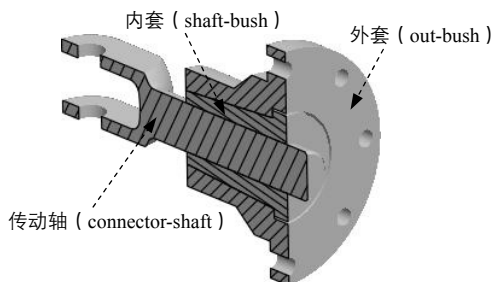


图 7.10.2 锥形胀套结构组成

步骤01 创建“Static Structural”项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中, 双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**, 新建一个“Static Structural”项目列表。

步骤02 进入设计数据管理界面。在“Static Structural”项目列表中双击 **Engineering Data**, 进入设计数据管理界面。然后单击工具栏中的“Engineering Data Sources”按钮, 系统进入材料数据库管理界面。

步骤03 添加材料项目(注:本步的详细操作过程请参见随书光盘中 video\ch07.10\reference\文件下的语音视频讲解文件“contact-analysis-r01.exe”)。

步骤04 导入几何体。在“Static Structural”项目列表中右击 **Geometry** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令, 弹出“打开”对话框。选择文件“D:\ansc14.0\work\ch07.10\shaft-bush-assy.stp”, 单击 **打开(O)** 按钮。

步骤05 进入“Mechanical”环境。在“Static Structural”项目列表中双击 **Model** 选项, 进入“Mechanical”环境。

步骤06 设置轴零件的材料。在“Outline”窗口中选择 **Geometry** 节点下的 **CONNECTOR-SHAFT** 节点, 弹出“Details of ‘Shaft’”对话框, 单击 **Assignment** 文本框的 **►** 按钮, 在打开的列表中选择 **Gray Cast Iron** 选项。

步骤07 整理接触。

(1) 删除接触。在“Outline”窗口中展开 **Connections** 节点, 选中 **Contact Region** 并右击, 在弹出的快捷菜单中选择 **Delete** 命令, 在弹出的“ANSYS Workbench”对话框中单击 **是(Y)** 按钮, 将其删除。

(2) 修改接触属性。在“Outline”窗口中选择 **Connections** 节点下的 **Contact Region 2**, 弹出定义接触参数对话框, 在对话框中 **Definition** 区域的 **Type** 下拉列表中选择 **Rough** 选项, 在 **Advanced** 区域的 **Offset** 文本框中输入数值 0.15, 完成接触属性的修改。

步骤08 添加接触。

(1) 选择命令。在“Outline”窗口中选择 **Connections** 节点下的 **Contacts** 并右击, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Contact Region** 命令, 弹出定义接触参数对话框。

(2) 选取接触面和目标面。在图形区选取图 7.10.3 所示的模型表面为接触面对象, 然后选取图 7.10.4 所示的模型表面为目标面对象。

(3) 定义接触属性。在定义接触参数对话框的 **Definition** 区域的 **Type** 下拉列表中选择 **Rough** 选项, 在 **Advanced** 区域的 **Offset** 文本框中输入数值 0.15, 完成接触定义。

步骤09 初步划分网格。在“Outline”窗口中右击 **Mesh** 节点, 弹出“Details of ‘Mesh’”

对话框, 在对话框中的 **Relevance** 文本框中输入数值 100, 在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项, 在 **Element Size** 文本框中输入数值 5.0mm。单击“Mesh”工具栏中的 **Update** 按钮, 完成初步网格划分, 结果如图 7.10.5 所示。

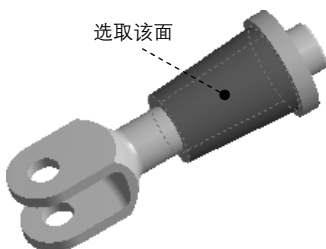


图 7.10.3 选取接触面

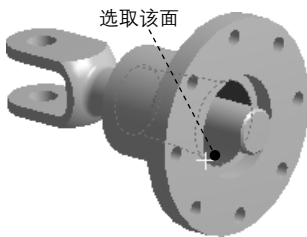


图 7.10.4 选取目标面

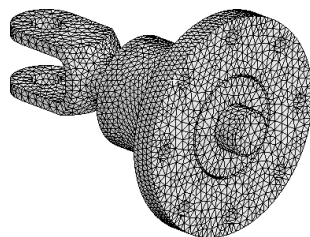


图 7.10.5 初步划分的网格

步骤 10 对网格进行局部控制。

(1) 局部控制一。单击“Mesh”工具栏中的 **Mesh Control** 按钮, 在下拉列表中选择 **Contact Sizing** 选项, 弹出“Details of ‘Contact Sizing’ - Contact Sizing”对话框。在对话框中的 **Contact Region** 下拉列表中选择 **Rough - SHAFT-BUSH TO CONNECTOR-SHAFT** 选项, 在 **Element Size** 文本框中输入数值 3.0, 完成局部控制参数定义。


(2) 局部控制二。再次单击“Mesh”工具栏中的 **Mesh Control** 按钮, 在其下拉列表中选择 **Contact Sizing** 选项, 在“Details of ‘Contact Sizing’ -- Contact Sizing”对话框的 **Contact Region** 下拉列表中选择 **Rough - SHAFT-BUSH TO OUT-BUSH** 选项, 在 **Element Size** 文本框中输入数值 3.0, 完成局部控制参数定义。

(3) 单击“Mesh”工具栏中的 **Update** 按钮, 网格划分结果如图 7.10.6 所示。

步骤 11 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令, 弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。选取图 7.10.7 所示的模型表面为约束对象, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。完成固定约束的添加, 结果如图 7.10.7 所示。

步骤 12 添加力矩载荷。在“Outline”窗口中右击 **Fixed Support** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Moment** 命令, 弹出“Details of ‘Moment’”对话框。选取图 7.10.8 所示的模型表面为载荷对象, 在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。在 **Define By** 下拉列表中选择 **Components** 选项, 在 **X Component** 文本框中输入数值 1200。完成力矩载荷的添加, 结果如图 7.10.8 所示。

步骤 13 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

步骤 14 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

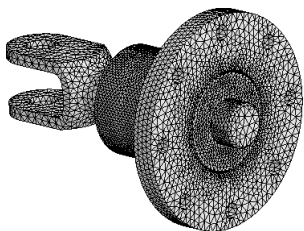


图 7.10.6 网格划分结果

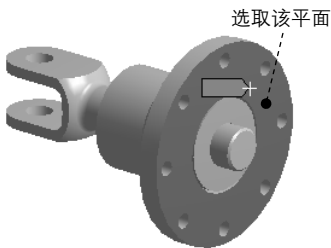


图 7.10.7 添加固定约束

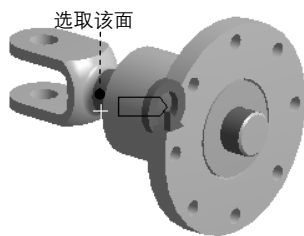





图 7.10.8 添加力矩约束


步骤 15 插入 out-bush 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中右击  **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，系统弹出“Details of ‘Equivalent Stress2’”对话框，在对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取  **bush_asm** 几何体对象，单击 **Apply** 按钮确认。


步骤 16 参照步骤 14，插入 shaft-bush 零件应力结果图解。

步骤 17 参照步骤 14，插入 connector-shaft 零件应力结果图解。

步骤 18 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击  **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Equivalent Stress**，查看图 7.10.9 所示的应力结果，其最小应力为 1.727×10^{-4} MPa，其最大应力为 1428.3 MPa。

(2) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Total Deformation**，查看图 7.10.10 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.1916 mm。

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/9 20:23

1428.3 Max
1289.6
1110.9
952.22
793.52
634.82
476.11
317.41
158.7
0.0001727 Min

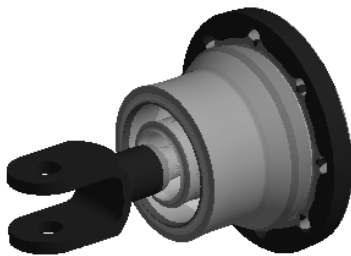


图 7.10.9 应力结果图解

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
2014/6/9 20:23

0.1916 Max
0.17031
0.14902
0.12773
0.10644
0.085156
0.063867
0.042578
0.021289
0 Min

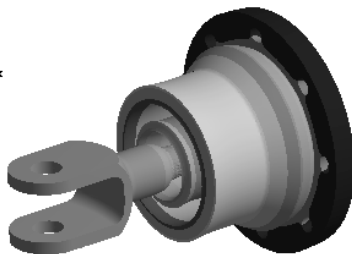


图 7.10.10 位移变形结果图解




(3) 查看 out-bush 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  **Equivalent Stress 2**，查看

图 7.10.11 所示的零件 out-bush 的应力结果,其最小应力为 5.1166MPa,其最大应力为 1428.3 MPa。

(4) 查看 shaft-bush 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 3, 查看图 7.10.12 所示的零件 shaft-bush 的应力结果,其最小应力为 15.36 MPa,其最大应力为 1234.1MPa。

(5) 查看 connector-shaft 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 4, 查看图 7.10.13 所示的零件 connector-shaft 的应力结果,其最小应力为 1.727e-004 MPa,其最大应力为 786.03MPa。

A: Static Structural
Equivalent Stress 2
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/9 20:23

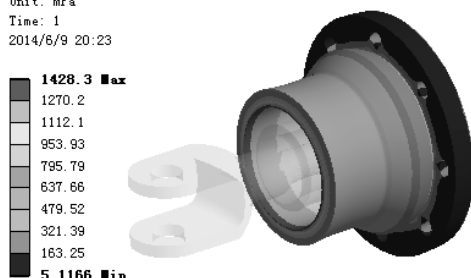


图 7.10.11 应力结果图解 (out-bush)

A: Static Structural
Equivalent Stress 3
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/9 20:23

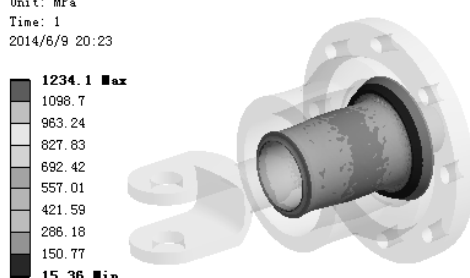


图 7.10.12 应力结果图解 (shaft-bush)

A: Static Structural
Equivalent Stress 4
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
2014/6/9 20:23

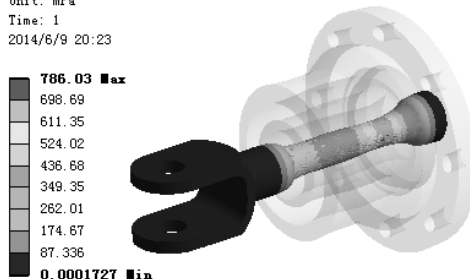


图 7.10.13 应力结果图解 (connector-shaft)

步骤 19 保存文件。选择 **File**  **Save Project...** 命令, 在弹出的“另存为”对话框中的 **文件名(N):** 文本框中输入 contact-analysis, 单击 **保存(S)** 按钮。

7.11 结构分析实际综合应用五——钣金组件接触分析应用

应用概述:

本应用介绍了图 7.11.1 所示钣金组件的结构分析。组件中包括上部钣金件 (UP-SHEET)、固定

钣金件 (FIX-BOARD) 和左右侧钣金件 (SIDE-SHEET), 四个钣金件之间属于绑定接触, 因为钣金件属于典型的薄壁零件, 可以采用薄壳分析方法进行结构分析, 所以先创建其中面模型 (图 7.11.2), 因为分析对象是组件, 还要注意其中网格连接的问题。下面具体介绍其分析过程。

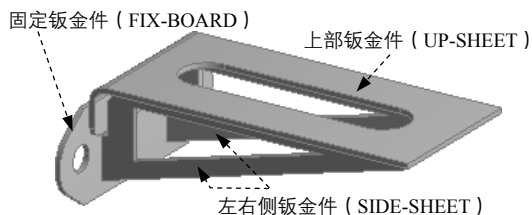


图 7.11.1 钣金组件结构分析

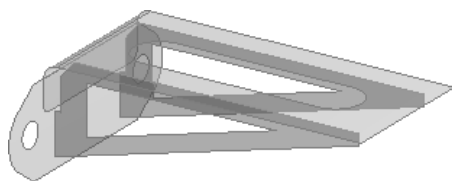


图 7.11.2 钣金组件中面模型

步骤 01 创建 “Static Structural” 项目列表。在 ANSYS Workbench 界面中, 双击 **Toolbox** 工具箱中的 **Analysis Systems** 区域中的 **Static Structural**, 新建一个 “Static Structural” 项目列表。

步骤 02 导入几何体。在 “Static Structural” 项目列表中右击 **Geometry** 选项, 在弹出的快捷菜单中选择 **Import Geometry** → **Browse...** 命令, 弹出 “打开” 对话框。选择文件 “D:\ansc14.0\work\ch07.11\shell-contact-ex.stp” 并打开。在 “Static Structural” 项目列表中双击 **Geometry** 选项, 在弹出的 “ANSYS Workbench” 对话框中选中 **Millimeter** 选项, 单击 **OK** 按钮, 单击 **Generate** 按钮, 完成几何体导入。

步骤 03 创建图 7.11.3 所示的中面 1。选择 **Tools** → **Mid-Surface** 命令, 弹出 “Details View” 对话框。按住 Ctrl 键, 在模型中依次选取图 7.11.4 所示的 3 组曲面对 (具体选择操作请参看随书光盘录像), 并在 **Face Pairs** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮确认。单击工具条中的 **Generate** 按钮, 完成提取中面的操作。

步骤 04 创建图 7.11.5 所示的中面 2。参照 step4 详细操作步骤, 创建图 7.11.5 所示的中面 2。

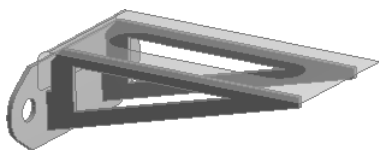


图 7.11.3 中面 1

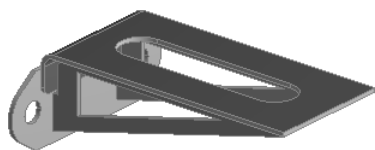


图 7.11.4 定义曲面对

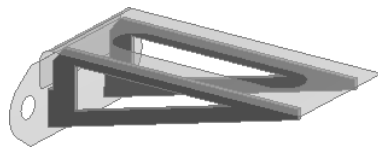


图 7.11.5 中面 2

步骤 05 创建图 7.11.6 所示的中面 3 和中面 4。参照 step4 的详细操作步骤, 创建图 7.11.6 所示的中面 3 和中面 4。

步骤 06 返回 ANSYS Workbench 主界面中, 采用系统默认的材料, 在 “Static Structural” 项目列表中双击 **Model** 选项, 进入 “Mechanical” 环境。

步骤 07 设定 UP-SHEET 与 FIX-BOARD 之间的绑定接触。

(1) 选择命令。在“Outline”窗口中选择  **Connections** 节点并右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Manual Contact Region** 命令，弹出定义接触参数对话框。

(2) 定义接触对象和目标对象。在图形区选取图 7.11.7 所示的模型表面为接触对象，然后选取图 7.11.8 所示的模型表面为目标对象。

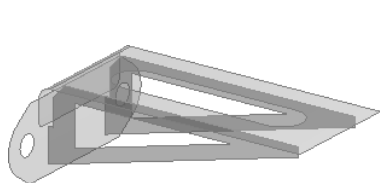


图 7.11.6 中面 3 和中面 4

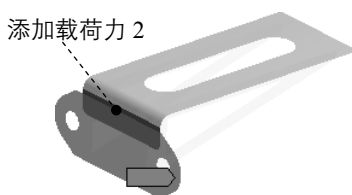


图 7.11.7 定义接触对象

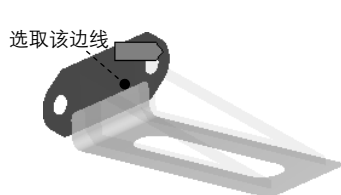







图 7.11.8 定义目标对象

(3) 定义接触属性。在定义接触参数对话框的 **Definition** 区域中的 **Type** 下拉列表中选择 **Bonded** 选项，其他采用系统默认设置，完成绑定接触的定义。

步骤 08 定义网格连接 1。在“Outline”窗口中选中  **Connections** 并右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Manual Mesh Connection** 命令，弹出“Details of ‘Mesh Connection’”对话框。选择图 7.11.9 所示的面为 Master 对象，单击 **Master Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。选择图 7.11.10 所示的边为 Slave 对象，单击 **Slave Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认。然后在 **Tolerance Type** 下拉列表中选择 **Use Sheet Thickness** 选项。

步骤 09 定义网格连接 2。在“Outline”窗口中选中  **Connections** 节点下的  **Mesh Connections** 右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Manual Mesh Connection** 命令，选择图 7.11.11 所示的面为 Master 对象，单击 **Master Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。选择图 7.11.12 所示的边为 Slave 对象，单击 **Slave Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。然后在 **Tolerance Type** 下拉列表中选择 **Use Sheet Thickness** 选项。

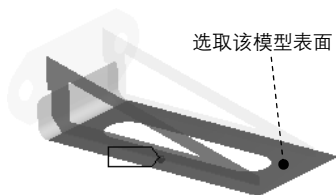


图 7.11.9 定义 Master 几何对象

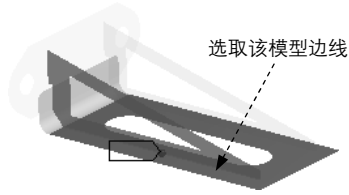


图 7.11.10 定义 Slave 几何对象

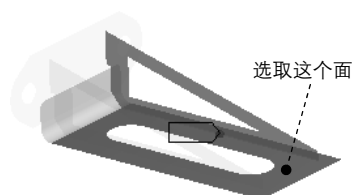





图 7.11.11 定义 Master 几何对象

步骤 10 定义网格连接 3。在“Outline”窗口中选中  **Connections** 节点下的  **Mesh Connections** 右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert**  **Manual Mesh Connection** 命令，选择图 7.11.13 所示的面为 Master 对象，单击 **Master Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。选择图 7.11.14 所示的边为 Slave 对象，单击 **Slave Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。然后在

Tolerance Type 下拉列表中选择 **Use Sheet Thickness** 选项。

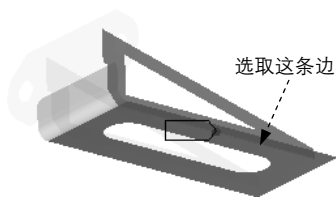


图 7.11.12 定义 Slave 几何对象

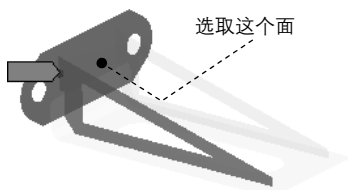


图 7.11.13 定义 Master 几何对象

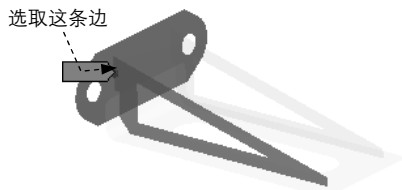


图 7.11.14 定义 Slave 几何对象

步骤 11 定义网格连接 4。在“Outline”窗口中选中 **Connections** 节点下的 **Mesh Connections** 右击，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Manual Mesh Connection** 命令，选择图 7.11.15 所示的面为 Master 对象，单击 **Master Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。选择图 7.11.16 所示的边为 Slave 对象，单击 **Slave Geometry** 文本框中的 **Apply** 按钮确认选取。然后在 **Tolerance Type** 下拉列表中选择 **Use Sheet Thickness** 选项。

步骤 12 划分网格。在“Outline”窗口中单击 **Mesh** 节点，弹出“Details of ‘Mesh’”对话框。在 **Relevance** 文本框中输入数值 100，在 **Sizing** 区域的 **Relevance Center** 下拉列表中选择 **Fine** 选项，单击 **Update** 按钮，完成的网格划分，结果如图 7.11.17 所示。

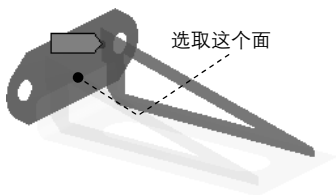


图 7.11.15 定义 Master 几何对象

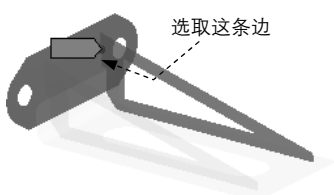


图 7.11.16 定义 Slave 几何对象

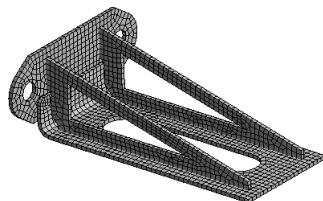


图 7.11.17 网格划分

步骤 13 添加固定约束。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Fixed Support** 命令，弹出“Details of ‘Fixed Support’”对话框。选取图 7.11.18 所示的孔边线为固定对象，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，完成固定约束的添加，结果如图 7.11.18 所示。

步骤 14 添加载荷力。在“Outline”窗口中右击 **Static Structural (A5)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Force** 命令，弹出“Details of ‘Force’”对话框。选取图 7.11.19 所示的面，在 **Geometry** 后的文本框中单击 **Apply** 按钮，在 **Magnitude** 文本框中输入数值 200N，单击 **Direction** 选项，调整方向如图 7.11.19 所示，完成载荷力的添加，结果如图 7.11.19 所示。

步骤 15 插入应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷

菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令。

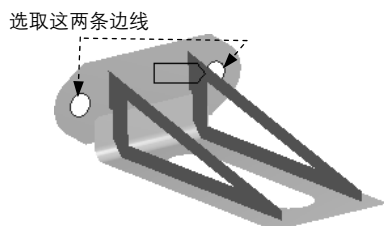


图 7.11.18 添加固定约束

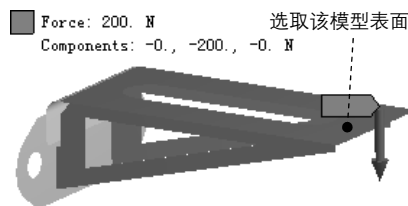


图 7.11.19 添加载荷力

步骤 16 插入位移变形结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Deformation** → **Total** 命令。

步骤 17 插入 UP-SHEET 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中右击 **Solution (A6)** 选项，在弹出的快捷菜单中选择 **Insert** → **Stress** → **Equivalent (von-Mises)** 命令，系统弹出“Details of ‘Equivalent Stress2’”对话框，在对话框中单击以激活 **Geometry** 后的文本框，选取 UP-SHEET 几何体对象，单击 **Apply** 按钮确认。

步骤 18 参照步骤 15，插入 FIX-BOARD 零件应力结果图解。

步骤 19 参照步骤 15，插入 SIDE-SHEET 零件应力结果图解。

步骤 20 求解查看应力及位移变形结果。

(1) 求解分析。在顶部工具栏中单击 **Solve** 按钮求解分析。

(2) 查看应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress**，查看图 7.11.20 所示的应力结果，其最小应力为 0.064005MPa，其最大应力为 148.48MPa。

(3) 查看位移变形结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Total Deformation**，查看图 7.11.21 所示的位移变形结果，其最大位移为 0.58358 mm。

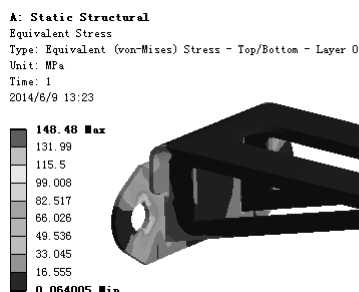


图 7.11.20 应力结果图解

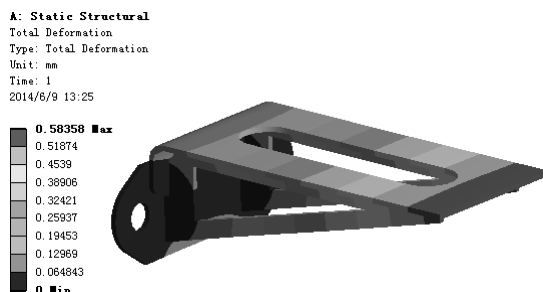



图 7.11.21 位移变形结果图解

(4) 查看 UP-SHEET 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中选中 **Equivalent Stress 2**，查看图 7.11.22 所示的零件 UP-SHEET 的应力结果，其最小应力为 0.23665MPa，其最大应力为

51.607MPa。

(5) 查看 FIX-BOARD 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 3，查看图 7.11.23 所示的零件 FIX-BOARD 的应力结果，其最小应力为 0.48176 MPa，其最大应力为 148.48MPa。

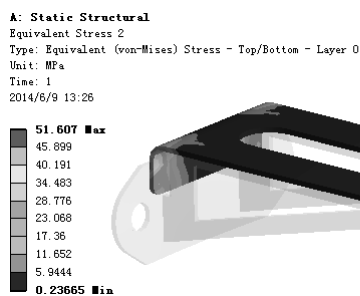


图 7.11.22 应力结果图解 (UP-SHEET)

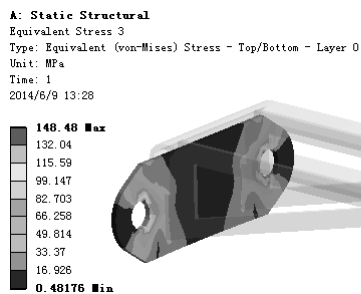



图 7.11.23 应力结果图解 (FIX-BOARD)

(5) 查看 SIDE-SHEET 零件应力结果图解。在“Outline”窗口中选中  Equivalent Stress 4，查看图 7.11.24 所示的零件 SIDE-SHEET 的应力结果，其最小应力为 0.064005 MPa，其最大应力为 75.815MPa。

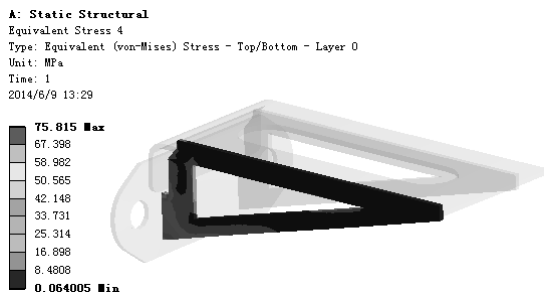




图 7.11.24 应力结果图解 (SIDE-SHEET)

步骤 (21) 保存文件。选择  File  Save Project... 命令，在弹出的“另存为”对话框中的文件 (N): 文本框中输入 shell-contact-ex，单击  保存 (S) 按钮。

读者意见反馈卡

尊敬的读者:

感谢您购买电子工业出版社出版的图书!

我们一直致力于 CAD、CAPP、PDM、CAM 和 CAE 等相关技术的跟踪,希望能将更多优秀作者的宝贵经验与技巧介绍给您。当然,我们的工作离不开您的支持。如果您在看完本书之后,有好的意见和建议,或是有一些感兴趣的技术话题,都可以直接与我联系。

策划编辑:管晓伟

注:本书的随书光盘中含有该“读者意见反馈卡”的电子文档,您可将填写后的文件采用电子邮件的方式发给本书的责任编辑或主编。

E-mail: 兆迪科技 zhanygjames@163.com; 管晓伟 guanphei@163.com。

请认真填写本卡,并通过邮寄或 E-mail 传给我们,我们将奉送精美礼品或购书优惠卡。

书名:《ANSYS Workbench 14.0 结构分析应用速成标准教程》

1. 读者个人资料:

姓名: _____ 性别: _____ 年龄: _____ 职业: _____ 职务: _____ 学历: _____

专业: _____ 单位名称: _____ 电话: _____ 手机: _____

邮寄地址: _____ 邮编: _____ E-mail: _____

2. 影响您购买本书的因素(可以选择多项):

- | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 内容 | <input type="checkbox"/> 作者 | <input type="checkbox"/> 价格 |
| <input type="checkbox"/> 朋友推荐 | <input type="checkbox"/> 出版社品牌 | <input type="checkbox"/> 书评广告 |
| <input type="checkbox"/> 工作单位(就读学校)指定 | <input type="checkbox"/> 内容提要、前言或目录 | <input type="checkbox"/> 封面封底 |
| <input type="checkbox"/> 购买了本书所属丛书中的其他图书 | | <input type="checkbox"/> 其他 |

3. 您对本书的总体感觉:

☐ 很好 ☐ 一般 ☐ 不好

4. 您认为本书的语言文字水平:

☐ 很好 ☐ 一般 ☐ 不好

5. 您认为本书的版式编排:

☐ 很好 ☐ 一般 ☐ 不好

6. 您认为 ANSYS 其他哪些方面的内容是您所迫切需要的?

7. 其他哪些 CAD/CAM/CAE 方面的图书是您所需要的?

8. 认为我们的图书在叙述方式、内容选择等方面还有哪些需要改进的?

如若邮寄,请填写好本卡后寄至:

北京市万寿路 173 信箱 1017 室,电子工业出版社工业技术分社 管晓伟(收)
邮编: 100036 联系电话: (010) 88254460 传真: (010) 88254397

读者可以加入专业 QQ 群 273433049 来进行互动学习和技术交流。